

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky - 354

Výukové úlohy pro robot Mitsubishi

Tutorials for Robot Mitsubishi

Student:

Bc. Karel Wija

Vedoucí práce:

prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robotiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Karel Wija**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2301T013 Robotika**
Téma: **Výukové úlohy pro robot Mitsubishi
Tutorials for Robot Mitsubishi**
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Popište dané pracoviště s PR Mitsubishi a systémem 3D strojového vidění.
2. Navrhněte a realizujte případné úpravy pracoviště.
3. Navrhněte a realizujte demonstrační a výukové úlohy na pracovišti s průmyslovým robotem a systémem 3D strojového vidění.
4. Práci doplňte podrobnou dokumentací a návody k realizovaným úlohám.
5. Vybranou úlohu demonstруйте.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

Červenka T. *Výukové pracoviště s průmyslovým robotem IRB360*, (Diplomová práce, Katedra robotiky, VŠB-TU Ostrava), 2014

Seidler O. *Výukové pracoviště s průmyslovým robotem IRB140*. (Diplomová práce, Katedra robotiky, VŠB-TU Ostrava), 2014

National Instruments *Manuály k systému strojového vidění National Instruments*

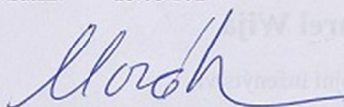
Mitsubishi *Manuály dodané k zvolenému PR*

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Petr Novák**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 15.5.2017

.....
Karel Wija

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15.5.2017

.....

Karel Wija

Adresa trvalého pobytu diplomanta:

Na Hranici 724, Petřvald u Karviné, 735 41

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

WIJA, Karel: Výukové úlohy pro robot Mitsubishi. Ostrava: Katedra robotiky, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2017, 70 stran, Diplomová práce, vedoucí práce prof. Dr. Ing. Petr Novák.

Diplomová práce se zabývá návrhem a vývojem ukázkových úloh na robot Mitsubishi RV-2SD. V první části jsou rozebrány základní pojmy k této problematice a rozdělení manipulačních zařízení podle kritérií. Ve druhé a třetí části je popis robotů skupiny Mitsubishi MELFA, do kterých je zařazen i robot RV-2SD. Robot, řídicí jednotka a operační panel jsou posléze podrobně popsány spolu s technickými specifikacemi. Ve čtvrté části je popis použitého efektoru a jeho připojení na přírubu robotu. Pátá část popisuje programovací prostředí RT ToolBox2 a rovněž popisuje základní úkony, jak v tomto softwaru připravovat programy. Následuje návrh vzorových úloh pomocí tohoto softwaru a v šesté části je popsáno zařízení 3D strojové vidění, prostředí softwaru LabVIEW a vytvoření vzorové úlohy s propojením tohoto zařízení s robotem. Vzorové úlohy jsou zpracovány a přiloženy v příloze diplomové práce.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

WIJA, Karel: Tutorials for Robot Mitsubishi. Ostrava: Department of robotics, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2017, 70 pages, Master thesis, supervisor prof. Dr. Ing. Petr Novák.

This thesis deals with the design and development of prototypical assignments for robot Mitsubishi RV-2SD. In the first part I analyse elementary terms related with this issue and classify the handling appliances according to criteria. The second and the third parts describe the robots of group Mitsubishi MELFA, where the robot RV-2SD is placed. The robot, the control unit and the operating panel are closely described together with their technical specifications. The fourth part describes the used effector and its adjunction to the robot collar. The fifth part describes the software RT ToolBox2. There is also description of elementary acts, how to prepare programmes in this software. The design of prototypical assignments with the aid of the software follows. The sixth part describes the appliance 3D Stereo Vision, the software of LabVIEW and the creation of sample assignment with connection this appliance with the robot. The processed sample assignments are enclosed to the thesis.

Chtěl bych vyjádřit poděkování vedoucímu mé diplomové práce prof. Dr. Ing. Petru Novákovi za připomínky, které mi poskytl v průběhu této diplomové práce, dále pak Ing. Jánů Babjakovi za zprovoznění efektoru, Ing. Václavu Krysovi pro zrealizování připojení efektoru a Ing. Milanu Begešovi za cenné rady a možnost využití robotu ve firmě AutoCont CZ a.s.

Obsah

Seznam použitého značení, zkratk a symbolů	1
Požadavkový list	2
Úvod.....	3
1. Robotika, roboty a manipulátory	4
1.1. Základní pojmy	4
1.2. Rozdělení podle kritérií.....	4
2. Roboty Mitsubishi MELFA.....	5
3. Rozbor stávajícího pracoviště.....	6
3.1. Popis robotu	7
3.2. Řídicí jednotka CR1DA-771	11
3.3. Operační panel - R56TB	13
4. Popis efektoru.....	17
4.1. Použitá redukce	18
4.2. Elektrické zapojení.....	18
4.3. Změna údajů v softwaru RT ToolBox2	20
4.4. Příkaz pro sevření a otevření čelistí efektoru	22
5. Software RT ToolBox2	23
5.1. Vytvoření nového projektu	23
5.2. Další funkce softwaru	32
5.3. Vzorové úlohy	37
6. 3D strojové vidění	41
6.1 Současný stav	46
6.2 Software LabVIEW.....	47
6.3 Potřebné úpravy pracoviště	48
6.4 Popis výukové úlohy	51
6.5 Způsob zpracování dat a komunikace	51
7. Zhodnocení a závěr.....	57
Seznam použité literatury a zdrojů	59
Seznam obrázků a tabulek	61
Seznam příloh	63

Seznam použitého značení, zkratk a symbolů

- Seznam zkratk

2D	-	dvoudimenzionální
3D	-	trojdimenzionální
Aj.	-	a jiné
Atd.	-	a tak dále
CPU	-	centrální procesorová jednotka (Central Processing Unit)
Obr.	-	obrázek
OM	-	objekt manipulace
PC	-	osobní počítač (Personal Computer)
PLC	-	programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
PR	-	průmyslový robot
Resp.	-	respektive
ŘJ	-	řídící jednotka
SR	-	servisní robot
Tab.	-	tabulka
TP	-	operační panel (Teach Pendant)

- Seznam symbolů

° (deg)	-	stupeň	-	Úhlový stupeň
°C	-	stupeň Celsia	-	Teplota
deg/s	-	stupeň za sekundu	-	Rychlost
kg	-	kilogram	-	Hmotnost
m	-	metr	-	Délka
mm	-	milimetr	-	Délka
mm/s	-	milimetr za sekundu	-	Rychlost
px	-	pixel	-	Obrazový prvek
s	-	sekunda	-	Čas

Požadavkový list

V diplomové práci zpracujte:

- Popis daného pracoviště s PR Mitsubishi a 3D strojového vidění
- Návrh a realizace úpravy pracoviště
- Návrh a realizace výukových úloh na pracovišti s PR a systémem 3D strojového vidění
- Podrobnou dokumentaci a návody k realizovaným úlohám

Úvod

Jelikož člověk je inteligentní tvor, který se stále pokouší co nejvíce si zpříjemnit život, ulehčit práci a zlepšit si životní podmínky, vynalezl a posléze přecházel z manuální práce na tzv. mechanizaci výroby. Z tohoto následovala automatizace, do níž spadá i robotizace. Toto odvětví přineslo přesnější a kvalitnější výrobu. Automatizace linek také přináší zrychlení výroby a odstraňují hned několik lidských faktorů, jako například zapomětivost, únava, fyzická síla, atd.

Současný trend digitalizace a s ní související automatizace výroby a změn na trhu práce se označuje jako čtvrtá průmyslová revoluce (Průmysl 4.0, také jako Práce 4.0). Podle této myšlenky vzniknou „chytré továrny“, které budou využívat kyberneticko-fyzikální systémy. Ty převezmou opakující se a jednoduché činnosti, které do té doby vykonávali lidé.

Dnešní doba nabízí na trhu spoustu výrobců a širokou nabídku všech typu robotů, jak servisních, tak průmyslových, které se liší nosností, přesností polohování nebo velikostí pracovního rozsahu. Po výběru robotu, je nutno robot náležitě naprogramovat, aby pracoval správně. Na to slouží také velký výběr programů, které se naprogramují na PC a posléze načtou do řídicí jednotky. Lze také použít přímo ovládací panel.

Cílem této diplomové práce je vytvoření a realizace výukových úloh na konkrétní typ robotu, Mitsubishi RV-2SD. Uvedu postup vytvoření robotických programů pomocí softwaru RT ToolBox2. Také zde bude prezentováno propojení robotu s 3D strojovým viděním. V příloze diplomové práce bude několik vzorových úloh, které budou moci sloužit jako studijní materiály a zadání samostatných prací v průběhu semestru.

1. Robotika, roboty a manipulátory

Jelikož robotika je velmi komplexní obor a její podrobné rozebrání by vystačilo na několik velmi dlouhých kapitol, uvedu zde jen základní výběr informací, které by měly vystačit k tomu, aby čtenář pochopil základní myšlenku této práce. Mnoho dalších a zajímavých informací ohledně tohoto oboru lze najít na internetu.

Rozdělení a pojmy čerpáno z [1].

Robotika – věda zabývající se různými aspekty v souvislosti s roboty a člení se:

- Teoretická část – řeší otázky teoretické, koncepční, umělé inteligence, senzoriky, navigace, simulace, atd...
- Technická část – označovanou také jako robotechnika, zahrnující výzkum a vývoj jednotlivých subsystémů robotů, výpočty, metody jejich návrhů, konstrukce, atd...
- Aplikační část – označovanou také jako robototechnologie, která řeší problematiku nasazování PR ve výrobních systémech.

1.1. Základní pojmy

Průmyslový robot (PR) – je automaticky řízený, reprogramovatelný, víceúčelový manipulační stroj, stacionární nebo umístěný na pojezdu, určený k použití v průmyslové automatizaci.

Servisní robot (SR) – je volně programovatelné mobilní zařízení, které zčásti nebo zcela automaticky vykonává servis (službu).

Manipulátor – je zařízení s méně než třemi pohybovými osami, případně více osami, které ale nejsou přeprogramovatelné.

1.2. Rozdělení podle kritérií

Manipulační zařízení typu robotů mohou být klasifikována podle různých kritérií, jako např.:

- Počet stupňů volnosti (Univerzální, redundantní, deficitní)
- Kinematické struktury (Sériové, paralelní, hybridní)
- Použitých pohonů (Elektrický, hydraulický, pneumatický)
- Geometrie pracovního prostoru (Kartézský, cylindrický, sférický, angulární, SCARA)
- Pohybových charakteristik (Univerzální, modulární)

- Způsobu řízení
- Způsobu programování
- Aj.

Jelikož se diplomová práce zabývá návrhem a vývojem úloh pro robot od společnosti Mitsubishi, bude podrobněji popsána pouze tato kategorie robotů.

2. Roboty Mitsubishi MELFA

Roboty MELFA od společnosti Mitsubishi disponují velikou rychlostí, přesností, kompaktním designem a také dlouhou životností. Roboty MELFA nabízí ve své třídě nejlepší parametry pro mnoho aplikací. [2]

Spektrum produktů zahrnuje univerzálně použitelné roboty s kloubovými rameny se 6 osami s nosností od 2 kg do 70 kg, a také roboty SCARA se 4 osami s nosností od 3 kg do 20 kg pro montážní a paletovací aplikace.

Nejnovější generací robotů MELFA reprezentuje série F Mitsubishi Electric pod označením F-Q dostupné jako moduly na PLC platformě iQ. Ta propůjčuje průmyslovým robotům kompletní funkci PLC a je možné ji připojit bez technické náročnosti jednoduchým zasunutím CPU modelu do základní sběrnice ke stávajícím PLC. Přes integrovaný Q kontrolér* může robot komunikovat v rámci celého zařízení s ostatními PLC moduly a komponenty.

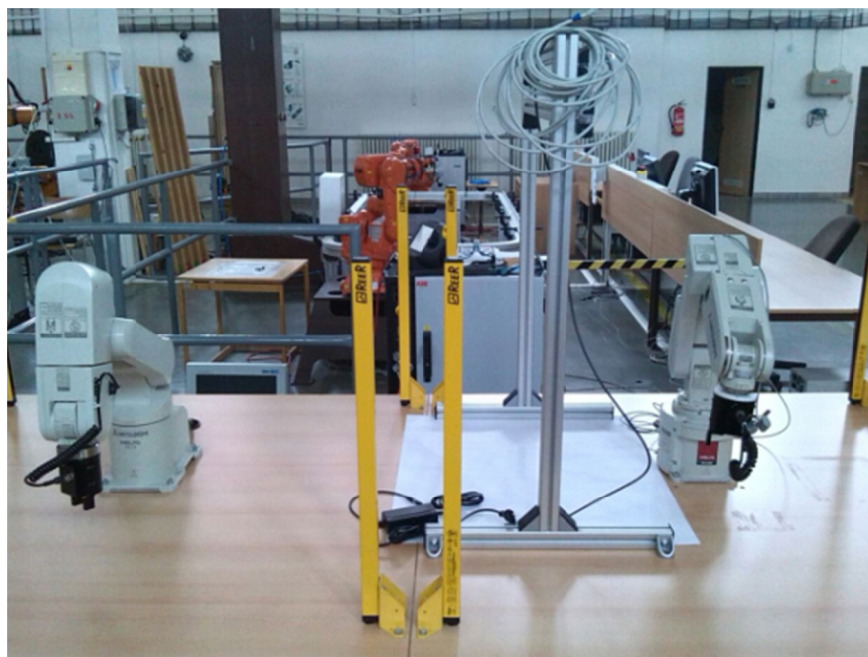
*Přehled Q kontrolérů, jejich specifikace a parametry – viz [3].

Roboty MELFA obsahují modely s následujícími charakteristikami:

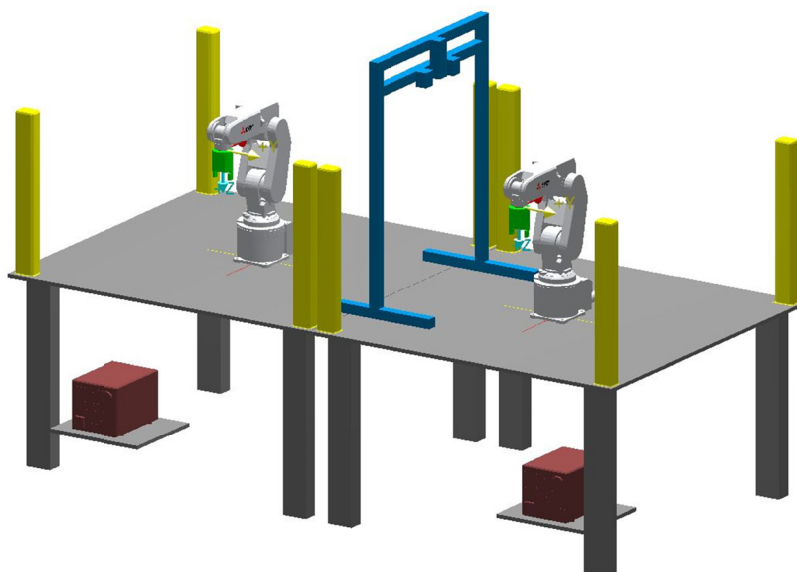
- Sférická nebo SCARA konstrukce
- Až 6 stupňů volnosti
- Pracovní dosah až do 2050 mm
- Maximální zatížení 1 kg až 70kg
- Přesnost polohování (x/y) až $\pm 0,005$ mm

3. Rozbor stávajícího pracoviště

V diplomové práci se vychází z pracoviště na centru robotiky, které se skládá ze dvou pracovních stolů, na nichž jsou dva typy robotů od společnosti Mitsubishi, starší typ robotu skupiny MELFA RV-1A a novější typ MELFA RV-2SD. Dále se na pracovišti nachází jejich řídicí jednotky, ovládací panely a optické závory, které plní funkce bezpečnostních prvků a také zařízení, které zajišťuje 3D strojové vidění (Obr. 1). V práci se budu věnovat popisu novějšímu typu robotu, zařízením s ním spojeným a 3D strojového vidění. Popis zbylého zařízení není obsahem diplomové práce. Na Obr. 2 můžeme vidět vymodelované schéma pracoviště, které se nachází na centru robotiky.



Obr. 1 - Pracoviště na centru robotiky



Obr. 2 - Schéma pracoviště

3.1. Popis robotu

Jak již bylo uvedeno, robot RV-2SD (Obr. 3) spadá do skupiny MELFA od společnosti Mitsubishi. Popis označení robotu lze vidět na Obr. 4. Technické specifikace jsou doloženy v Tab. 1.

Popis robotu a technické specifikace čerpány z [4], [5].

- Kompaktní 6ti-osý robot
- Vhodný pro manipulaci s materiálem, montáž, inspekci
- Snížený profil při zachování širokého pracovního rozsahu
 - Délka a tvar ramene jsou určeny pro optimální výkon a maximální dosah a zároveň poskytuje možnost dosáhnout postavení téměř k robotu
 - Lepší rozsah pohybu je zajištěn při aplikaci robotu na stěnu nebo strop
 - Osa J1 je rozšířená na $480^\circ (\pm 240^\circ)$ – eliminace mrtvé zóny
- Pokročilé servomotory poskytující velké rychlosti a přesnosti
 - Maximální složená rychlost 4400 mm/s (viz Tab. 1), dodatečně osy J4 – J5 budou optimalizovány tak, aby splňovaly vysokorychlostní montážní aplikace
 - Opakovaná přesnost polohování se pohybuje okolo $\pm 0,02$ mm
- Jedinečný design umožňuje široký rozsah pohybu a přístupnosti
 - Konstrukce ramene výrazně snižuje minimální provozní poloměr, který zvětšuje pracovní prostor blíže k základně robotu
 - Umožňuje také dosáhnout do menších prostorů mnoha úhly



Obr. 3 - Robot Mitsubishi RV-2SD

Technické specifikace robotu

Typ		Jednotky	RV - 2SD / RV - 2SQ
Třída robotu			Standard
Třída ochrany			IP30
Instalace			Země, strop, (zeď*2)
Struktura			Vertikální
Počet stupňů volnosti			6
Řídicí systém*1			AC servo motor (J2, J3 a J5: s brzdou)
Metoda zjišťování polohy			Absolutní enkodér
Maximální zatížení (posuzované)*3		kg	3 (2)
Délka ramen		mm	230 ÷ 270
Maximální dosah		mm	504
Provozní rozsah	J1	deg	480 (- 240 až + 240)
	J2		240 (- 120 až + 120)
	J3		160 (0 až + 160)
	J4		400 (- 200 až + 200)
	J5		240 (-120 až + 120)
	J6		720 (- 360 až + 360)
Maximální rychlost	J1	deg/s	225
	J2		150
	J3		275
	J4		412
	J5		450
	J6		720
Maximální složená rychlost*4		mm/s	cca 4400
Doba cyklu*5		s	0,6 - 0,7
Přesnost polohování		mm	± 0,02
Teplota pracoviště		°C	0 až 40
Hmotnost		kg	19
Elektroinstalace*6			Ruční: 4 vstupní body / 0 výstupní
Kabeláž			5 m (konektor na obou koncích)
Zapojený kontrolér			CR1DA - 771 / CR1QA - 772

Tab. 1 - Specifikace robotu

*1: Standardní model nemá brzdy na ose J1, J4, J6 (možná dostupnost modelu bez brzd ve všech osách).

*2: Montáž na zeď je specifikována zákazníkem; je zde omezená osa J1.

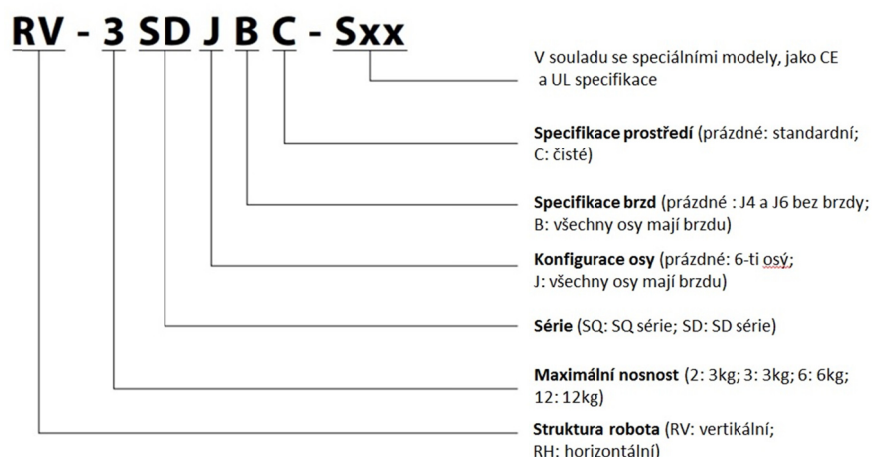
*3: Maximální zatížení indikuje maximální vyložení, kde zápěstí míří směrem dolů ($\pm 10^\circ$).

*4: Rychlost zápěstí, když jsou všechny osy složeny.

*5: Na základě pohybu přes vertikální vzdálenost 25 mm a horizontální 300 mm a zatížením 1 kg.

*6: Pokud je používán nástroj, pneumatický interface je nutný.

Popis značení robotu



Obr. 4 - Popis značení

SQ série – nabízí možnost integrace na iQ PLC, ale i také MELFA Basic V.

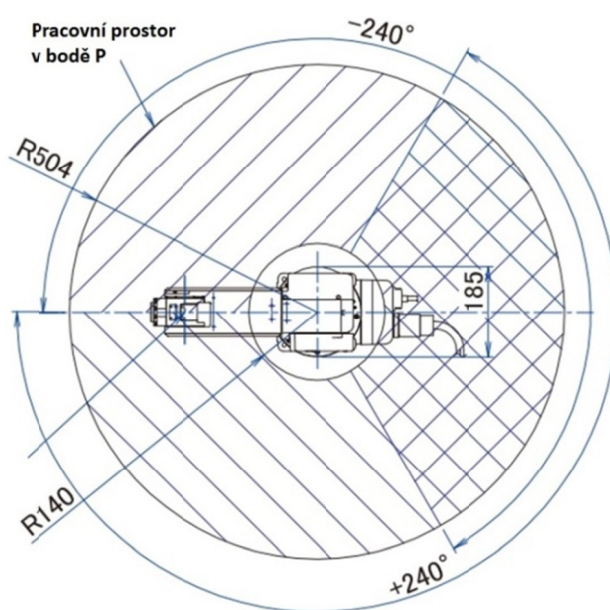
SD série – možnost programování jazyky např. MELFA Basic V.

Podrobnější popis jednotlivých sérií robotů Mitsubishi viz [6].

Pracovní prostor robotu

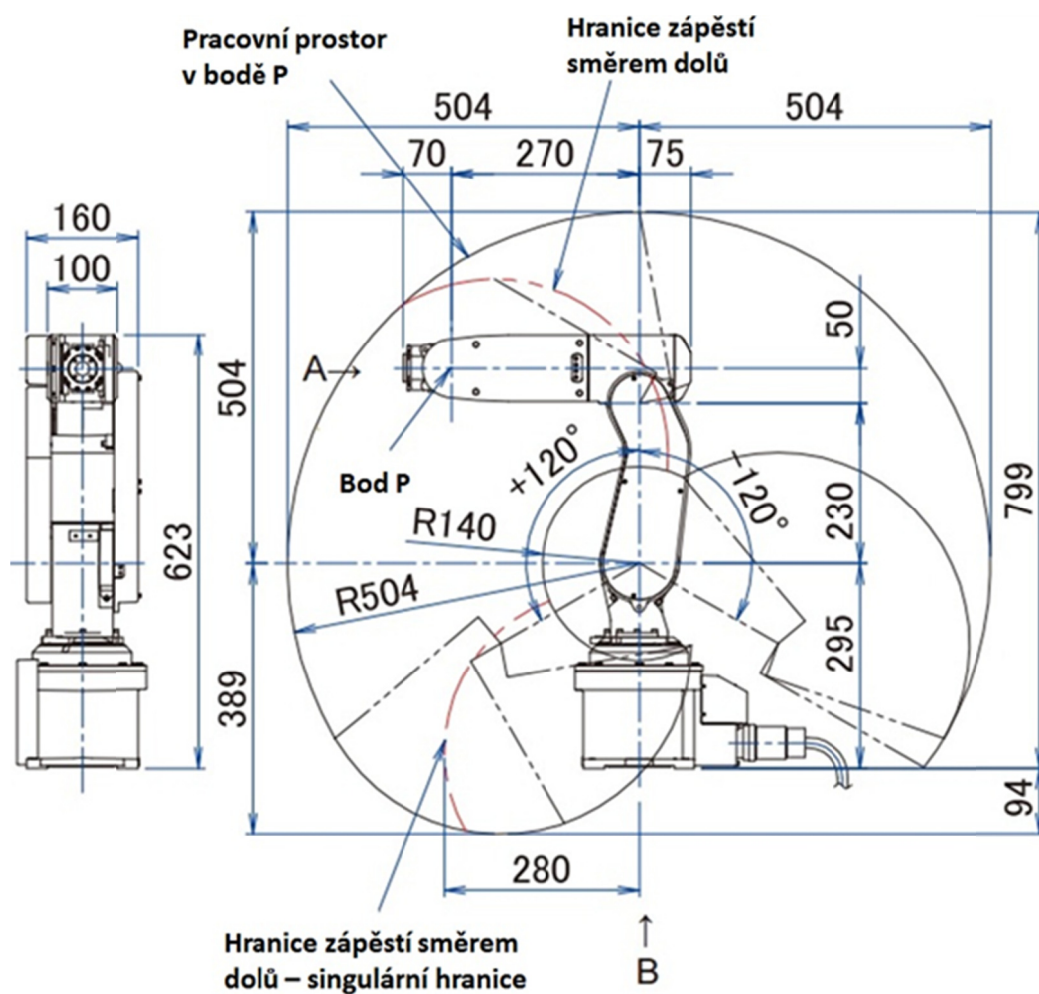
Informace čerpány z [4]

V této kapitole jsou popsány potřebné rozměry a parametry robotu RV-2SD. Pracovní prostory (Obr. 5), rozsahy a rozměry (Obr. 6), dále popis interface (Obr. 7) a připojovací rozměry (Obr. 8) robotu RV-2SD.

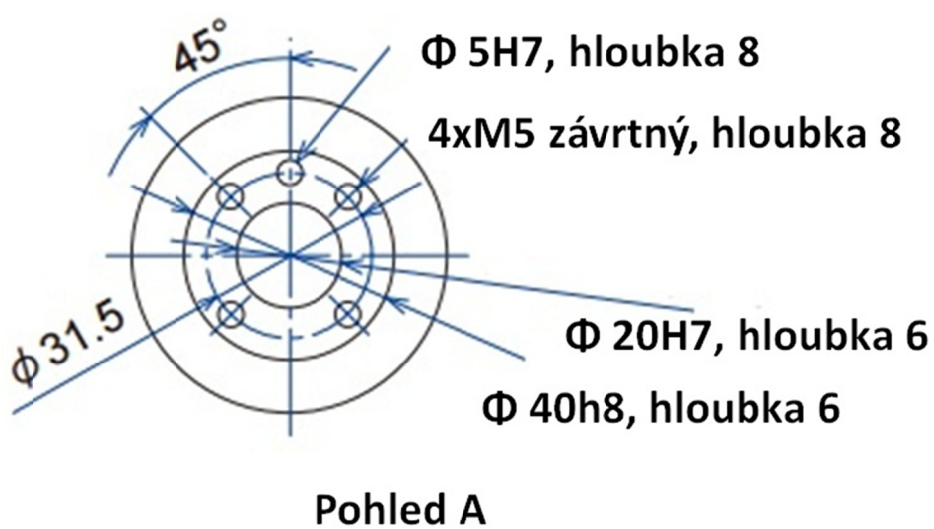


Obr. 5 - Pracovní prostor - Nárys

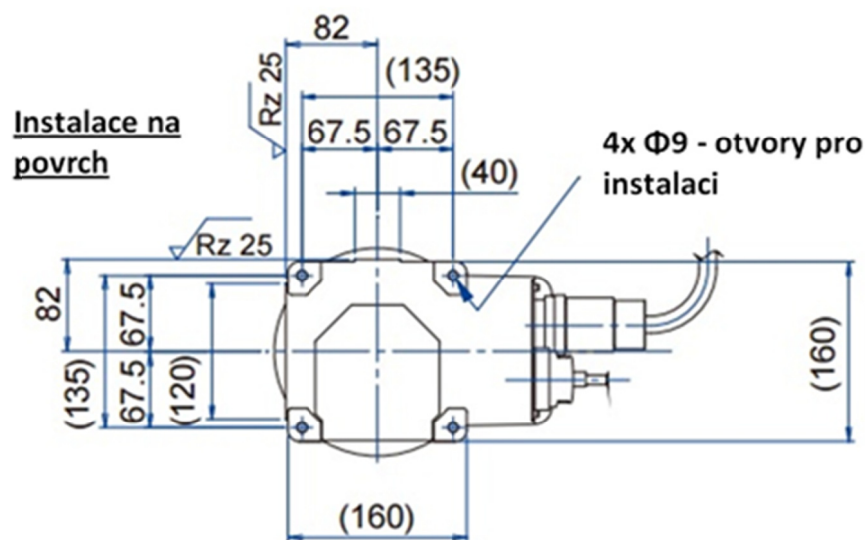
Bod P – viz Obr. 6.



Obr. 6 - Pracovní prostor, rozsahy a rozměry robotu - Bokorys



Obr. 7 - Mechanický popis - Pohled A, Interface



Obr. 8 - Připojovací rozměry

3.2. Řídicí jednotka CR1DA-771

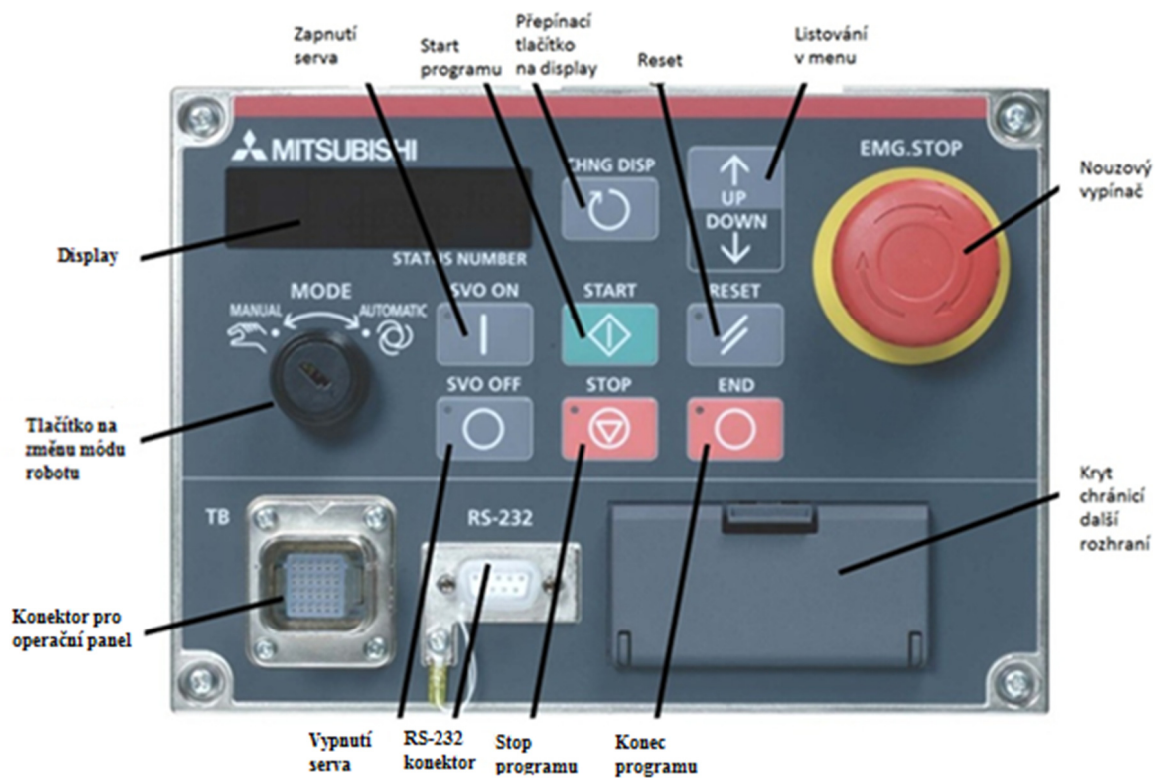
Řídicí jednotka (dále jen ŘJ) slouží pro propojení s PC a následné řízení robotu Mitsubishi RV – 2SD. Na ŘJ (Obr. 9), najdeme všechna potřebná tlačítka pro ovládání, displej pro zobrazení programů, bezpečnostní tlačítko s klíčem pro ovládání módu - manuální nebo automatický režim (Obr. 12), připojení operačního panelu (viz kap. 3.3 Operační panel - R56TB) a konektory na propojení s PC.

Popis přední části a funkčních tlačítek lze vidět na Obr. 10 a rozmístění vstupů a výstupů na zadní straně ŘJ nalezneme na Obr. 11. Technické specifikace ŘJ jsou popsány v Tab. 2.

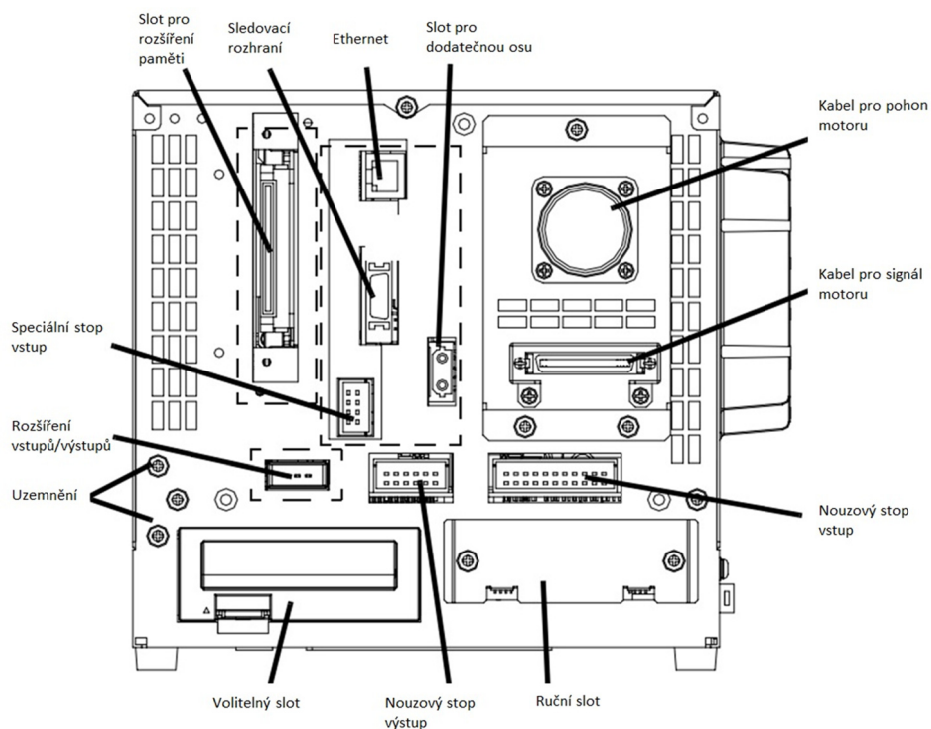
Potřebné informace a parametry ŘJ čepány z [5].



Obr. 9 - Řídicí jednotka



Obr. 10 - Řídicí jednotka - popis přední části



Obr. 11 - Řídicí jednotka - popis zadní části



Obr. 12 - Tlačítko pro ovládání módu

Další specifikace řídicí jednotky

Typ jednotky	Jednotky	CR1DA-771
Počet řízených os		6
Programovací jazyk robotu		MELFA-Basic V; IV
Rozhraní		RS-232; RS-422, Ethernet, USB; další *
Vnější rozměry	mm	240 (Š) x 290 (D) x 200 (V)
Váha	kg	cca 9
Ochranné specifikace		IP 20

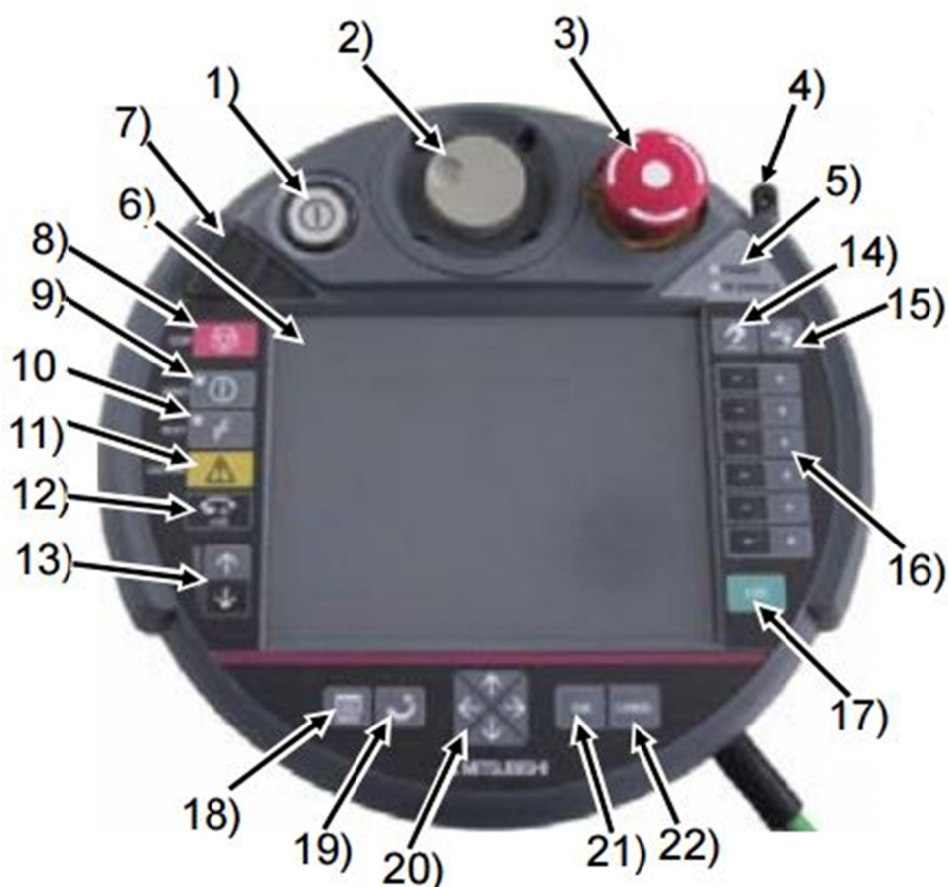
Tab. 2 - Specifikace řídicí jednotky

* Další přehled rozhraní viz [5].

3.3. Operační panel - R56TB

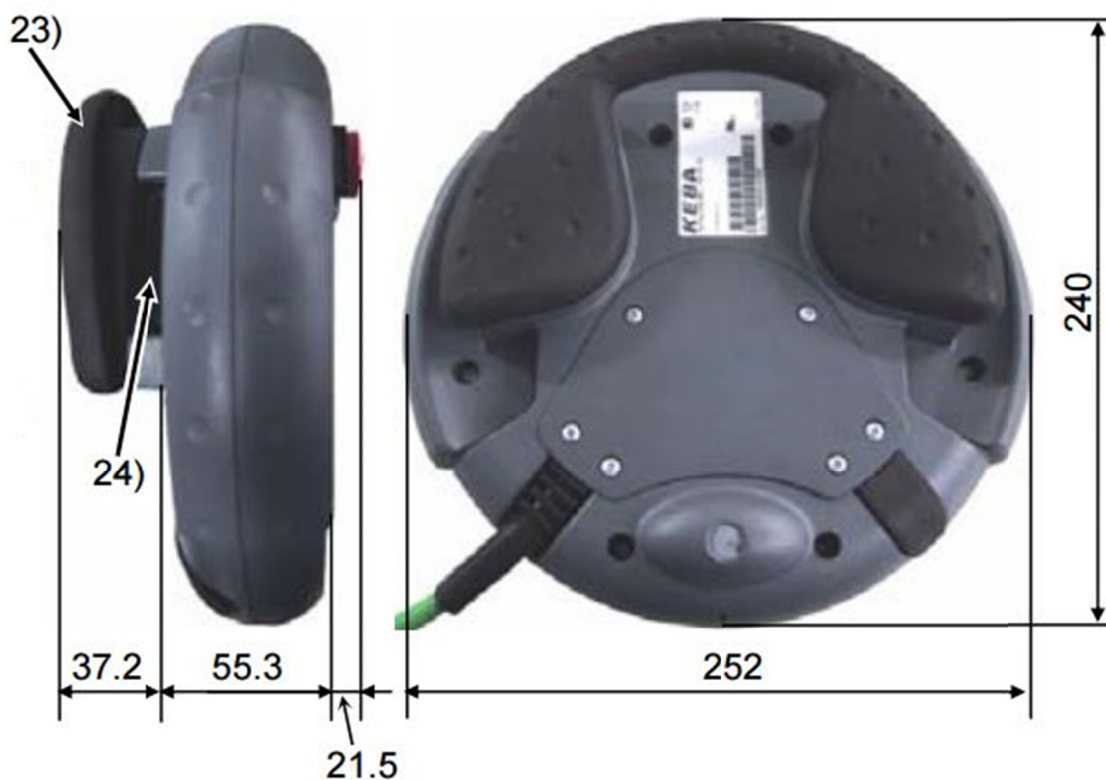
Operační panel, také někdy Teach pendant (dále jen TP), (Obr. 13) slouží pro ovládání, kontrolu, ale také i psaní a vytváření programů na robot. Dalo by se říci, že je to malý počítač, na kterém lze vykonávat skoro všechny funkce, jako v softwaru RT ToolBox2. TP je vybaven dotykovým displejem a pomocnou tužkou, se kterou ho lze snadno ovládat. Se zabudovaným otočným kolečkem, lze polohovat robot o desetiny a také i o setiny milimetru (přepnutí rychlosti na High, Low). Dále má tzv. „Teach button“, který slouží jako bezpečnostní funkce pro manuální režim ovládání robotu. Ovládací panely pro ovládání robotu a řízení os robotu jsou po stranách hlavního displeje, panel pro ovládání os se zobrazí po stisknutí tlačítka „JOG“. Bezpečnostní tlačítka „mrtvého muže“ jsou ze zadní strany TP (Obr. 14). Hlavní obrazovka je znázorněna na Obr. 15. Ukázka ovládacího panelu na ovládání os robotu pomocí kloubových a kartézských souřadnic lze vidět na Obr. 16. Technické specifikace lze vidět v Tab. 3.

Více informací o TP včetně rozboru funkcí, ovládání, příkazů a tlačítek viz [7].



Obr. 13 - TP - přední pohled

- 1 – „Teach button“ – zapnutí/vypnutí teaching módu
- 2 – Otočné kolečko – ovládání kurzoru v menu; jemné polohování
- 3 – EMG. Stop
- 4 – Pomocná tužka
- 5 – LED kontrolky pro zobrazení stavu – zapnuto/vypnuto; teaching mód
- 6 – Dotykový panel
- 7 – USB konektor
- 8 – Tlačítko STOP
- 9 – Zapnutí servomotorů
- 10 – Tlačítko pro restart (v případě chyby)
- 11 – Bezpečnostní tlačítko (např. pro uvolnění brzd)
- 12 – Tlačítko pro domácí polohu robotu
- 13 – Tlačítka pro změnu rychlosti
- 14 – Tlačítko pro práci s nástroji
- 15 – Tlačítko pro zobrazení ovládání os robotu – „JOG“
- 16 – Tlačítka pro ovládání os robotu
- 17 – Potvrzovací tlačítko
- 18 – Tlačítko menu
- 19 – Tlačítko pro návrat
- 20 – Tlačítka pro ovládání kurzoru
- 21 – Tlačítko OK
- 22 – Tlačítko zrušení



Obr. 14 - TP - boční a zadní pohled, rozměry

23 – Univerzální rukojeť

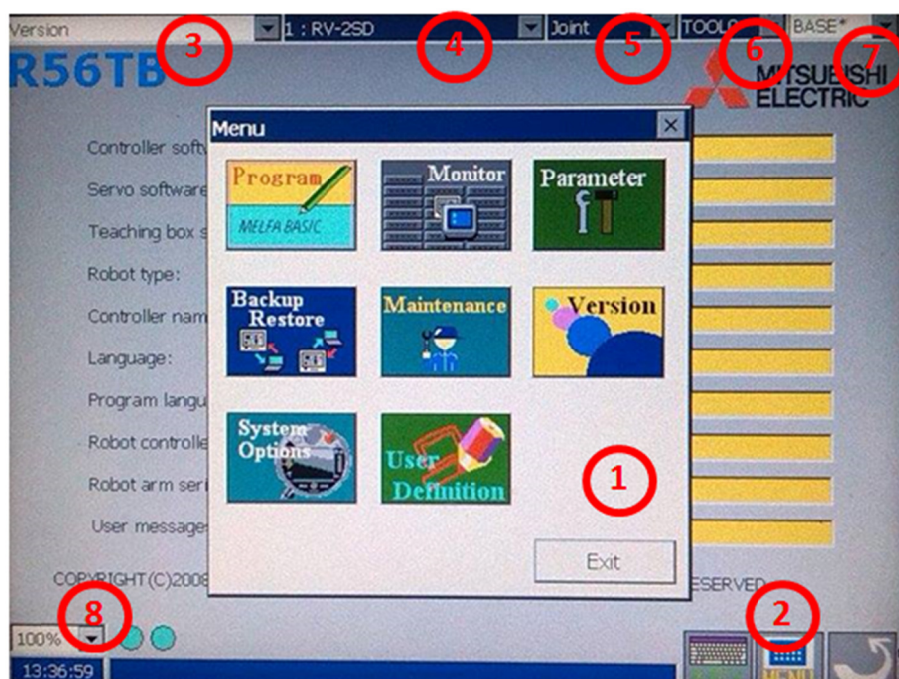
24 – Umístění tlačítek „mrtvého muže“ – 3 polohy

- 1) Nezmačknuto – robot stojí
- 2) Zmačknuto lehce – je možná práce s robotem
- 3) Zmačknuto silně – robot stojí

Specifikace operačního panelu

Typ jednotky	Jednotky	R56TB
Kompatibilita		Mitsubishi Electric
Display		Dotykový; 6,5"
Rozhraní		USB, Ethernet, RS232
Ochranné specifikace		IP 65
Váha	kg	1,5

Tab. 3 - Specifikace operačního panelu



Obr. 15 - TP Hlavní menu

- 1 - Hlavní obrazovka menu
- 2 - Tlačítka pro klávesnici, menu a návrat
- 3 - Lišta s přehledem
- 4 - Lišta pro volení druhu robotu
- 5 - Lišta pro zvolení druhu interpolace
- 6 - Lišta pro zvolení nástroje
- 7 - Lišta pro nastavení druhu souřadnicového systému
- 8 - Lišta pro nastavení rychlosti



Obr. 16 - Ovládací panel - Joint/XYZ

4. Popis efektoru

Efektor, pod jiným názvem těž chapadlo, je umístěn na přírubě robotu a slouží pro uchopení a následnou manipulaci s objektem. Při řešení diplomové práce byl použit typ 1A-HMO1 (Obr. 17), který vyrábí firma Mitsubishi. Efektor byl v minulosti používán na starší typ robotu typu RV-2AJ, ale na typ RV-2SD nebyl mechanicky ani elektricky kompatibilní a bylo nutno vytvořit vhodné podmínky pro používání, které budou rozebrány v následujících kapitolách. Technické specifikace lze vidět v Tab. 4.

Více informací, ohledně efektoru, včetně parametrů viz [8].



Obr. 17 - Efektor 1A-HM01

Specifikace efektoru

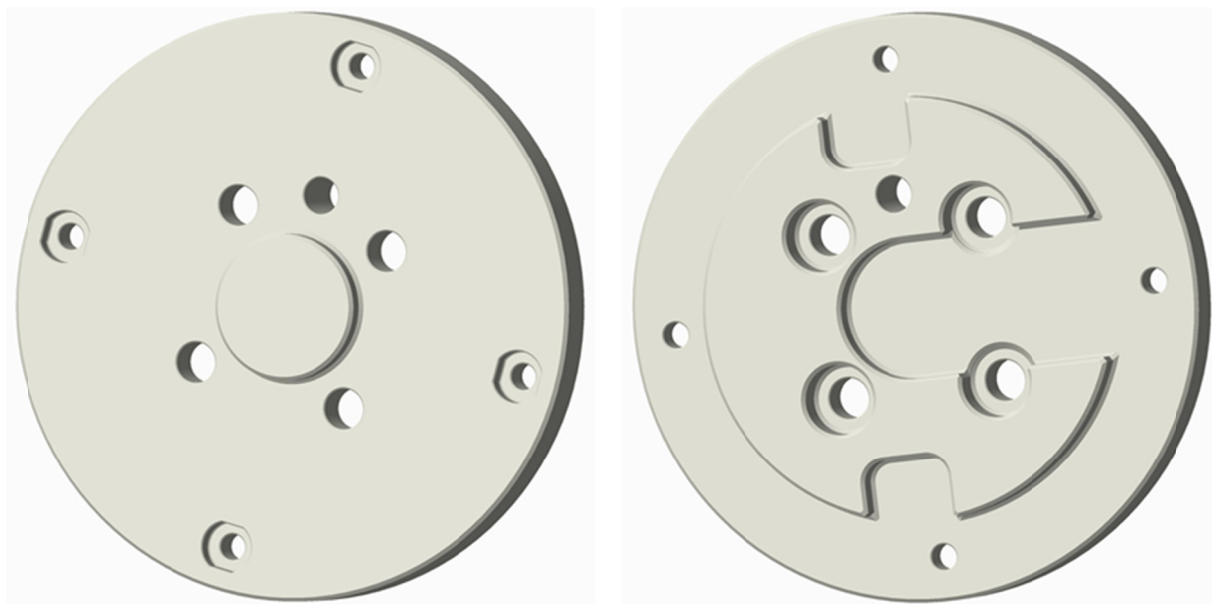
Typ jednotky	Jednotky	1A - HM01
Metoda pohonu		DC servo motor
Uchopovací síla	N	4,9 - 68,6
Životnost	Cyklů	1 000 000
Přesnost	mm	0,03
Váha	kg	0,59

Tab. 4 - Specifikace efektoru

4.1. Použitá redukce

Jelikož příruba na robotu a připojovací příruba na efektoru nebyly mechanicky kompatibilní, bylo potřeba vytvořit odpovídající redukci (Obr. 18), která by tyto nedostatky eliminovala a mohl tak efektor náležitě fungovat. Byly prozkoumány výkresy, jak robotu, tak efektoru a posléze byla vytvořena a vymodelována v programu Creo parametric 3.0 první možná redukce. Po odborné konzultaci byly provedeny menší technické úpravy a v další části byl model vytisknut na 3D tiskárně na fakultě robotiky. Po vytisknutí byly následně provedeny potřebné mechanické úpravy, aby redukce lícovala jak s efektozem, tak s přírubou robotu.

V případě používání vytištěné redukce doporučuji před každým použitím robotu zkontrolovat, jestli se neobjevují trhlinky nebo prasklinky u připojovacích otvorů, aby nedošlo k poškození efektoru a popřípadě obsluhy robotu.



Obr. 18 - Model redukce na připojení

Model redukce pro případnou výrobu je k dispozici v příloze: A - model redukce.

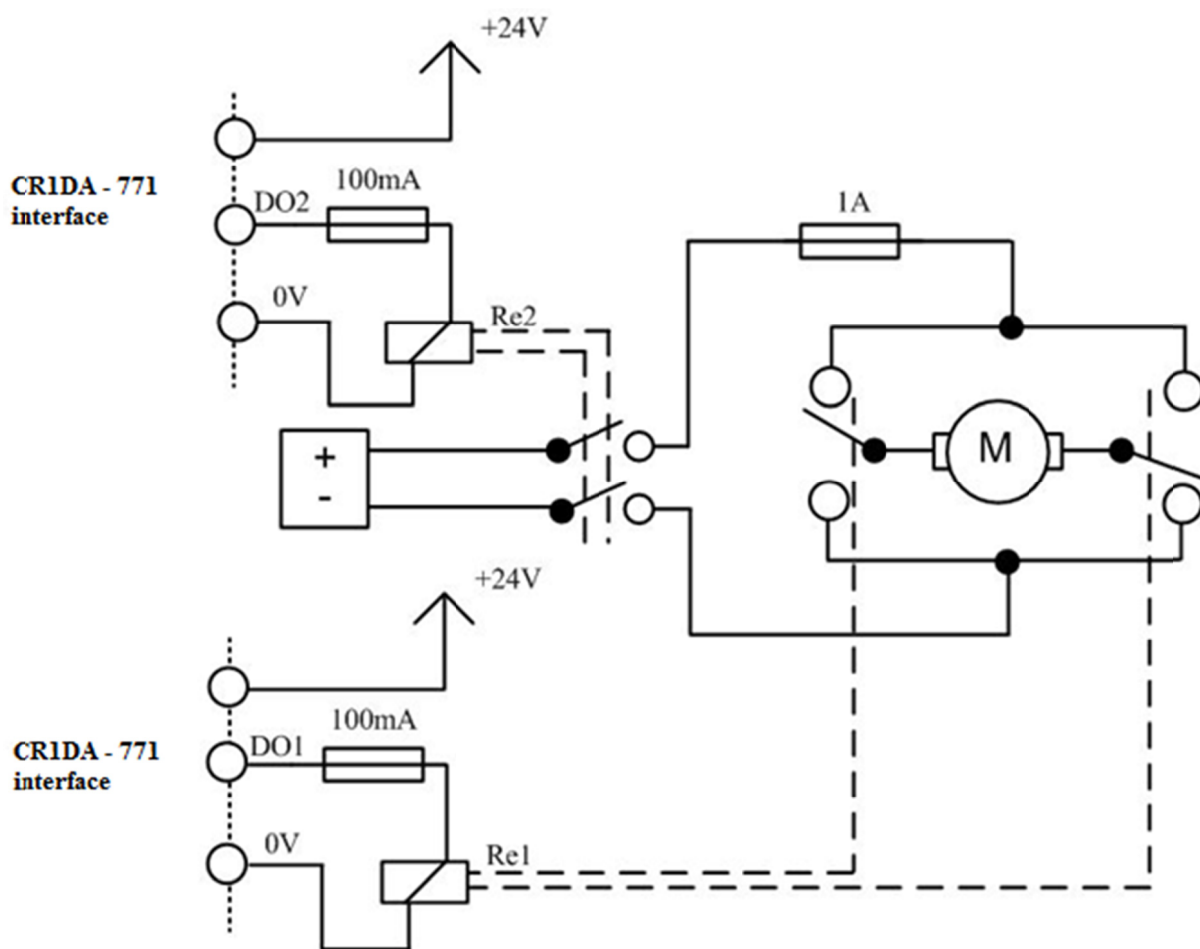
4.2. Elektrické zapojení

Jelikož nebylo k dispozici potřebné elektrické ovládání efektoru z důvodu absence ovládací karty, bylo nutno vytvořit jinou variantu ovládání. Po odborné konzultaci byl navržen elektrický obvod, který plní požadovanou funkci. Obvod spočívá na ovládání dvou relátek, kde jedno řídí přívod napětí do efektoru na zapnutí a vypnutí a druhé relé řídí směr jeho pohybu (polaritu otáčení motoru) – otevření nebo zavření. Obvod lze vidět na Obr. 19.

Pro napájení efektoru je zde použitý zdroj napětí s přepínačem napětí. To slouží pro řízení rychlosti zavírání čelistí a také na ochranu proti zatížení a následnému poškození motoru v efektoru (doporučené napájení je 4,5 V). Napájení relé je zajištěno zdrojem na 24 V. Seznam použitých komponentů lze nalézt v Tab. 5.

Pro zabezpečení ochrany jak řídicí jednotky, tak efektoru proti přetížení, byly použity pojistky, které by měly případné nežádoucí účinky v obvodu eliminovat a ochránit tak tyto důležité součásti. Celý obvod je uzavřen v instalační krabici.

Řídicí jednotka CRIDA-771 také poskytuje v základu ochranu proti indukční zátěži.

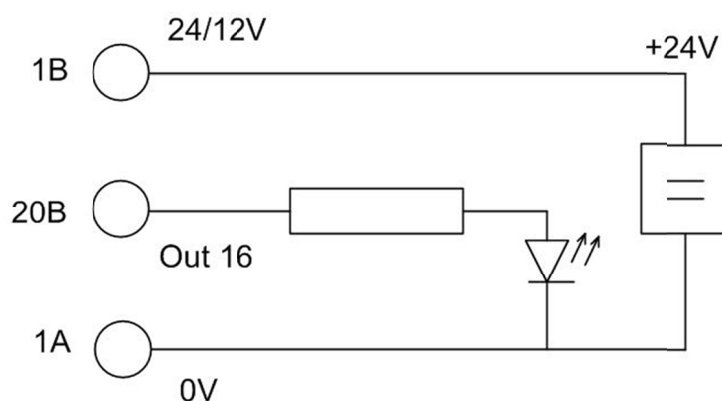


Obr. 19 - Obvod pro zapojení efektoru

Název položky	Počet kusů
Relé - JQX-14FC 24V	2
Svorkovnice	4
Zdroj MW500GS	1
Zdroj NH240P150GS	1
Přípojky na zdroj	2
Šroubovací průchodka	1
Instalační krabice	1
Pojistky	3
Kabeláž	
Lepící čtverečky	

Tab. 5 - Použité komponenty pro zapojení efektoru

Dříve před tímto obvodem byl vytvořen jednoduchý elektrický obvod s LED diodou, která se rozsvěcovala a zhasínala, podle příkazu z programu RT ToolBox 2. Program byl vytvořen z důvodu ověření označení a kontroly kabelu a zkoušky řídicích signálů z ŘJ. (Obr. 20)



Obr. 20 - Obvod pro LED

4.3. Změna údajů v softwaru RT ToolBox2

Pro správný a bezpečný chod robotu bylo nutno v softwaru přenastavit patřičné parametry, jako jsou váha, rozměry a těžiště efektoru a také parametry objektu manipulace (Obr. 21). Tyto parametry slouží pro správné vypočtení zrychlení a zpomalování os robotu a také proti kolizi nástroje (efektoru) s ostatními rameny a základnou robotu.

V softwaru lze možno nastavovat až 8 nástrojů a objektů k manipulaci, nyní nastavujeme hodnoty pro standardní situaci.

Více ohledně nastavování viz [9].

Změna údajů ve stromu: „Online – Parameter – Mov. Parameter – Weight and size ...“

Weight and size parameter 1:DP (Online)

Robot1 1 : RV-2SD

		WRKDAT0	WRKDAT1
Work	Weight [Kg]	0.20	
	Size [mm]	X	50
		Y	50
		Z	50
	Center of gravity position [mm]	X	0.00
Y		0.00	
Z		110.00	
		HNDDAT0	HNDDAT1
Hand	Weight [Kg]	0.70	
	Size [mm]	X	80.00
		Y	80.00
		Z	120
	Center of gravity position [mm]	X	0.00
Y		0.00	
Z		50	

Obr. 21 - Změna údajů v softwaru RT ToolBox2

Rozměry pro „Work“

Nutno zadat váhu OM*, jeho rozměry a těžiště.

*Objekt manipulace, se kterým bude manipulováno (přibližné hodnoty objektů k manipulaci na katedře robotiky)

Rozměry pro „Hand“

Nutno zadat váhu nástroje*, jeho rozměry** a těžiště.

*Váha efektoru = 0.59kg + váha redukce = 0.1kg \approx 0,7kg

**Rozměry viz [8]

4.4. Příkaz pro sevření a otevření čelistí efektoru

Příkaz, který je nutno vložit do programu, pokud chceme využívat efektor k uchopení objektu a jeho následnou manipulaci.

```
..                Předchozí příkazy
M_Out(17)=0      ' Příkaz pro zavření čelistí
M_Out(16)=1      ' Příkaz pro zapnutí efektoru
Dly 2           ' Doba čekání (zavírání čelistí)*
..              Příkazy pro pohyb efektoru s objektem manipulace (OM)
M_Out(17)=1      ' Příkaz pro otevření čelistí
Dly 2           ' Doba čekání (otevírání čelistí)
M_Out(16)=0      ' Příkaz pro vypnutí efektoru
..                Následné příkazy
```

*Při přemísťování OM musí být po tuto dobu aktivně zapnuty čelisti, aby nedošlo k uvolnění OM a jeho poškození nebo zranění obsluhy. Čas potřebný pro sevření čelistí je nutno nastavit podle vlastních požadavků.

Jelikož se jedná o příkaz programu, je dbát zvýšené opatrnosti v prostoru robotu a optických závor, protože po narušení závor robot automaticky zastaví, ale příkaz je stále aktivní, takže objekt sice nevypadne z čelistí, ale efektor je stále pod proudem, takže je třeba brát ohledy na jeho životnost a předcházet poškození efektoru v časném zrušení příkazu nebo zastavení celého programu.

5. Software RT ToolBox2

Cílem této kapitoly je stručný popis vývojového softwaru RT ToolBox2 (z pohledu potřeb zadání diplomové práce), který byl dodán s robotem a ve kterém se píše (vyvíjejí) vlastní řídicí aplikace robotu. Součástí této kapitoly je také popis několika výukových úloh, v souladu se zadáním této diplomové práce.

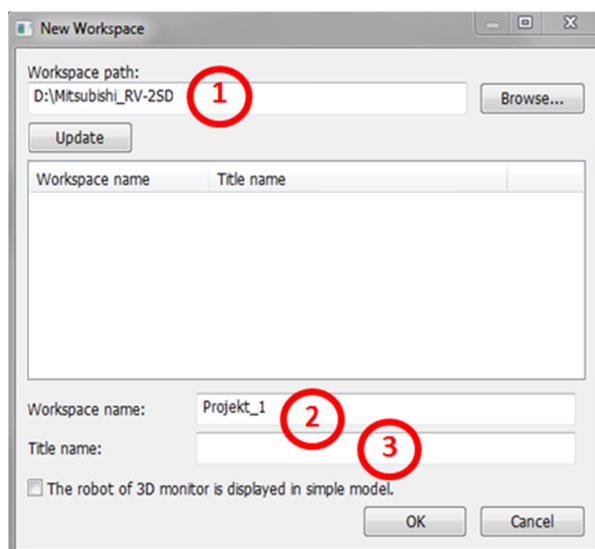
Software od společnosti Mitsubishi Electronic, který spadá do skupiny programů MELSOFT a je kompatibilní s roboty MELFA. Program je velice uživatelsky přívětivý a přehledný pro používání, vytváření programu pro roboty a taktéž pro přímé ovládání robotu. V programu také můžeme najít a vyčíst různé parametry z ŘJ ohledně robotu.

Více informací ohledně softwaru lze najít v manuálu – viz [9].

5.1. Vytvoření nového projektu

Vytvoření nové pracovního prostředí

Pro vytvoření nového projektu a programu pomocí programu RT ToolBox2 si musíme nejdříve vytvořit pracovní prostředí (Obr. 22). Pro vytvoření nového pracovního prostředí klikneme v programu na „Workspace - New“, také lze provést příkazem „Ctrl + N“.

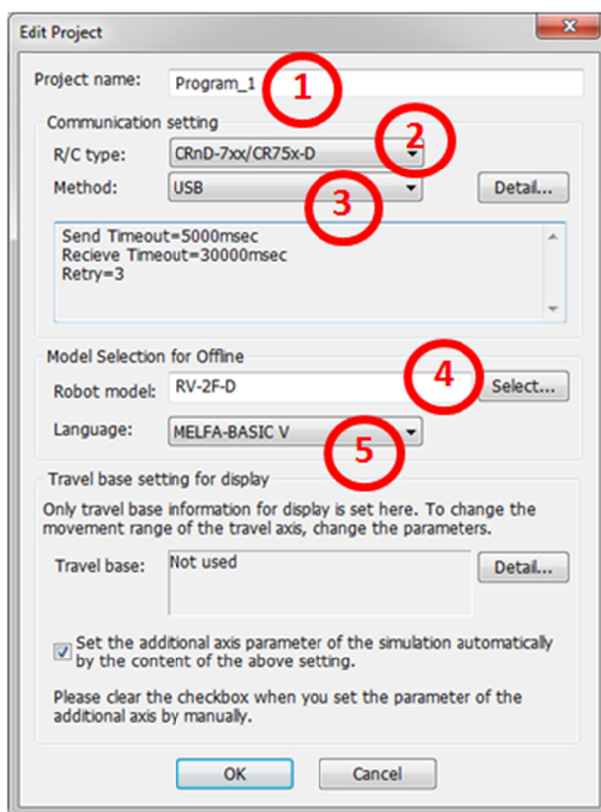


Obr. 22 - Nové pracovní prostředí

- 1 - Nastavení cílové složky
- 2 - Název pracovního prostředí
- 3 - Doplnující informace

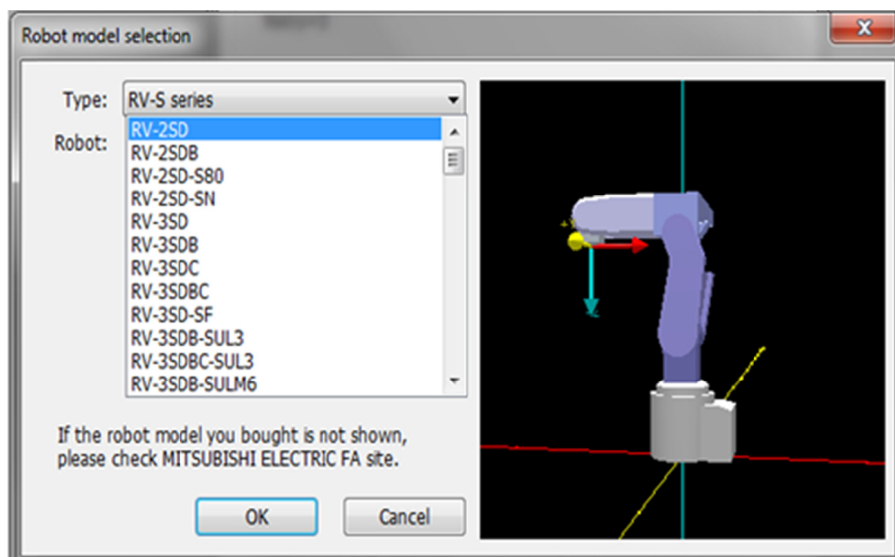
Vytvoření nového projektu – nastavení podrobností

Při vytváření nového projektu (Obr. 23) po nás bude chtít program zadat jméno projektu, typ ŘJ, metodu komunikace a připojení mezi PC a ŘJ, dále pak výběr typu robotu Mitsubishi z nabídky (Obr. 24) a programovací jazyk.



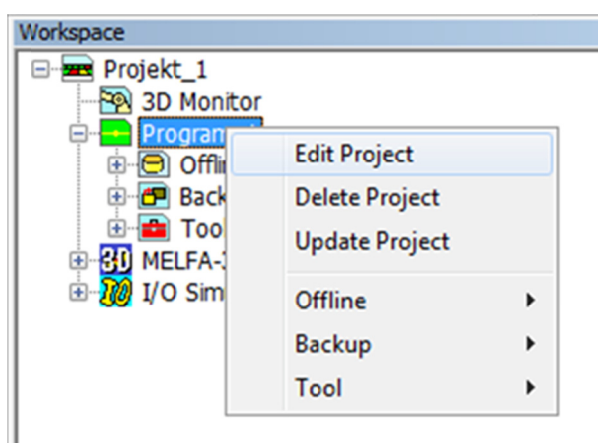
Obr. 23 - Editace projektu

- 1 - Název projektu
- 2 - Výběr typu řídicí jednotky (CRnD - 7xx/CR75x - D)
- 3 - Výběr typu připojení (USB; pro TCP/IP – 192.168.0.20)
- 4 - Výběr robotu (RV - 2SD)
- 5 - Výběr programovacího jazyka (MELFA - BAXIC V)



Obr. 24 - Přehled robotů Mitsubishi

Nastavení projektu lze posléze měnit také přímo z vytvořeného aktuálního projektu (Obr. 25).

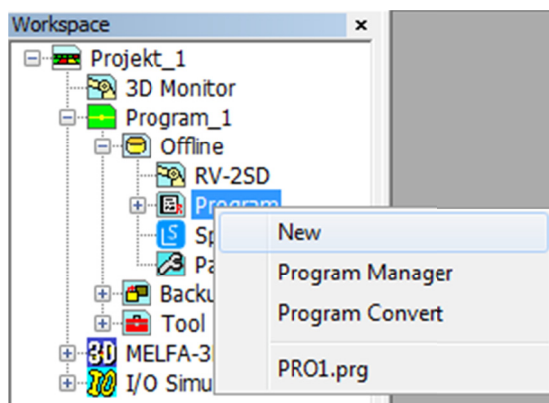


Obr. 25 - Ukázka úpravy projektu

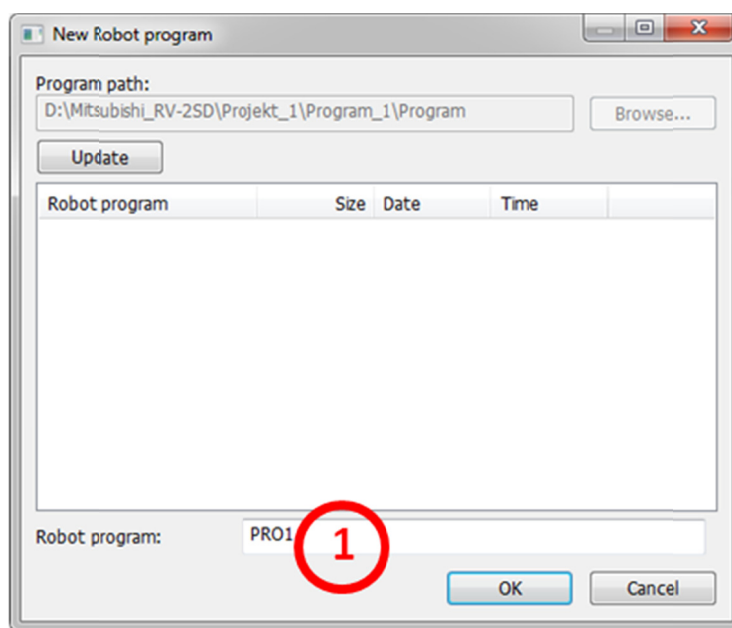
Vytvoření nového projektu – Nový robotický program

Vytvářet nový robotický program je vhodnější v režimu „Offline“ (Obr. 26), protože po vytvoření programu v tomto režimu, si ho můžeme nahrát jak do režimu Online (Simulace) (Obr. 31), tak posléze i do Online režimu (Obr. 38) s propojením s ŘJ robotu.

Samozřejmě můžeme vytvářet program rovnou v režimu „Online (Simulace)“, ale posléze při nahrání do ŘJ, kdy se musí vypnout Online režim (Simulace) a je nutno se propojit s ŘJ robotu, je tento program pořád uložen v režimu Online (Simulace). Program je tedy nutno zprvu nahrát do Offline režimu, aby mohl být přesunut a nahrán do Online režimu s propojením s ŘJ robotu.



Obr. 26 - Vytvoření nového robotického programu

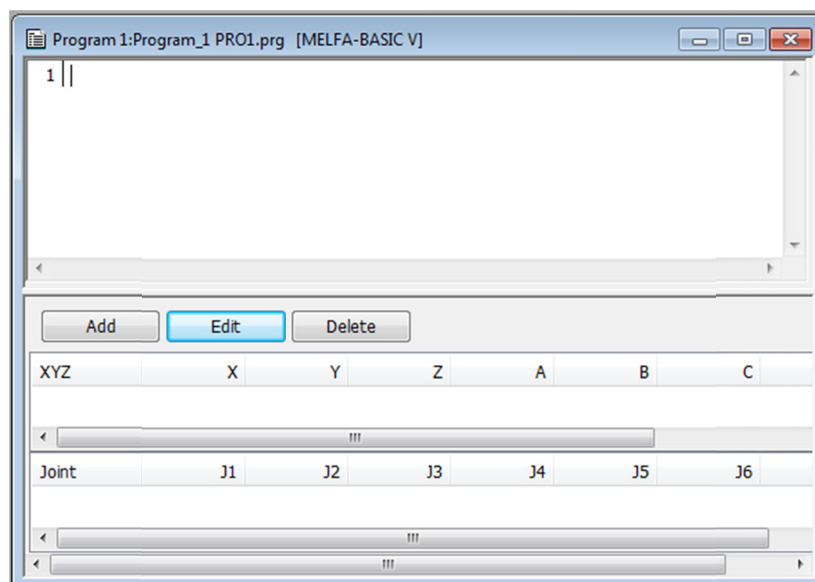


Obr. 27 - Vytvoření nového robotického programu - popis

Po kliknutí na tlačítko „New“ se nám objeví okno (Obr. 27), kde je nutno zadat název programu – doporučuje se kombinace písmen a čísel, ale maximálně 4místná kombinace (z důvodu, aby se program zobrazil na displeji ŘJ a mohl se tak vyhledat a posléze spustit přímo z ní).

Po zadání názvu programu a po potvrzení „OK“ se objeví editovací okno (Obr. 28), kde posléze píšeme náš robotický program na ovládání pohybu robotu. Přehled funkcí, které jsou podporovány – viz str. 25 - Obr. 30 - Přehled příkazů pro programování.

Napsané funkce si můžeme zkontrolovat programem příkazem „Syntax Check“ - (v nástrojové liště „Tool“), zda jsou správně napsány.

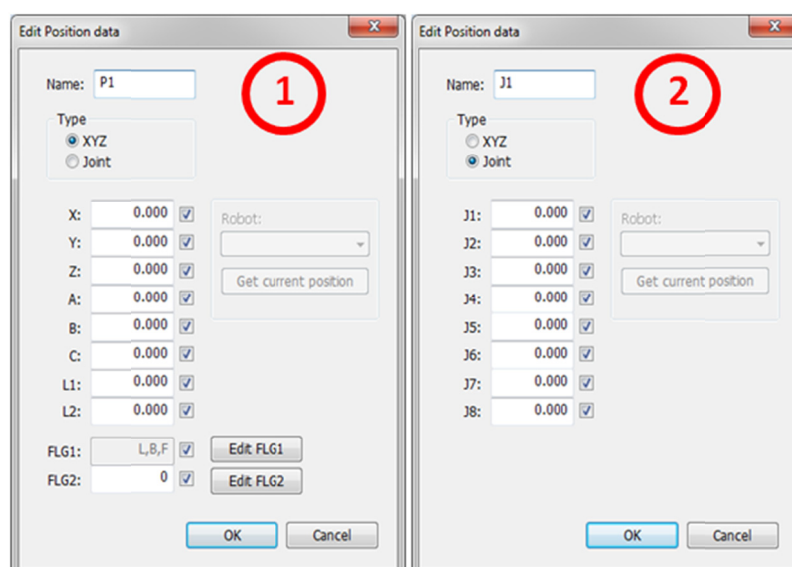


Obr. 28 - Editovací okno pro nový program - PRO1

Pro přidání poziční polohy robotu se klikne na tlačítko „Add“ a posléze pro editaci označených poloh tlačítko „Edit“. Přidávat polohy lze pomocí kartézského systému - XYZ (Obr. 29 - 1) nebo pomocí natočení jednotlivých kloubů robotu – Joint (Obr. 29 - 2).

Lze také robot připravit do požadované polohy a tlačítkem „Get current position“ načíst aktuální polohu robotu, která bude zapsána do souřadnic.

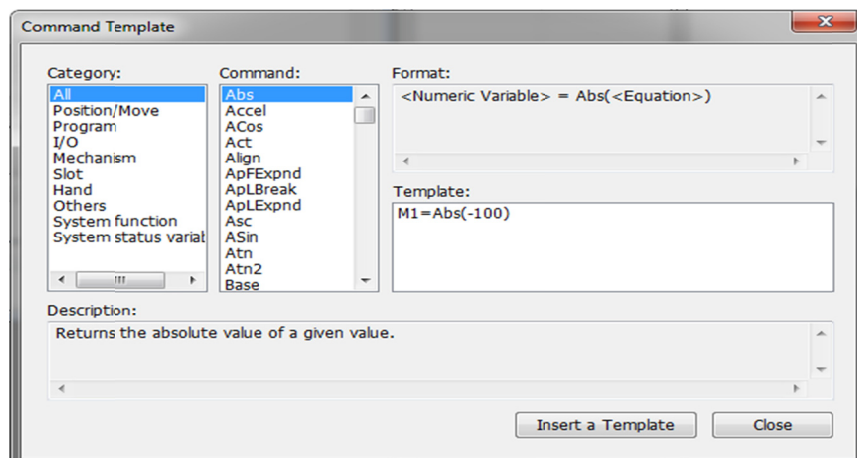
Označení poloh „Px“ (kartézský systém) a „Jx“ (natočení kloubů) slouží pro lepší orientaci ve čtení v programu.



Obr. 29 - Editační okna pro poziční data

Existuje také možnost zobrazit si nápovědy s příkazy a šablon s nápovědou syntaxe a funkce, které jsou velmi přehledné. Vhodné pro začínající programátory v programu RT ToolBox 2 (Obr. 30).

Nabídka příkazů: „Tool – Command Template...”

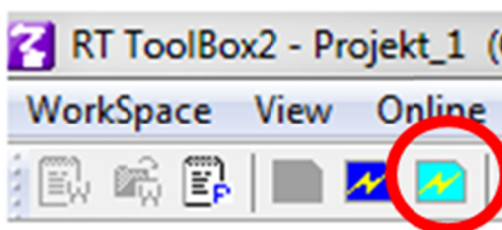


Obr. 30 - Přehled příkazů pro programování

Zapnutí Online - simulačního režimu

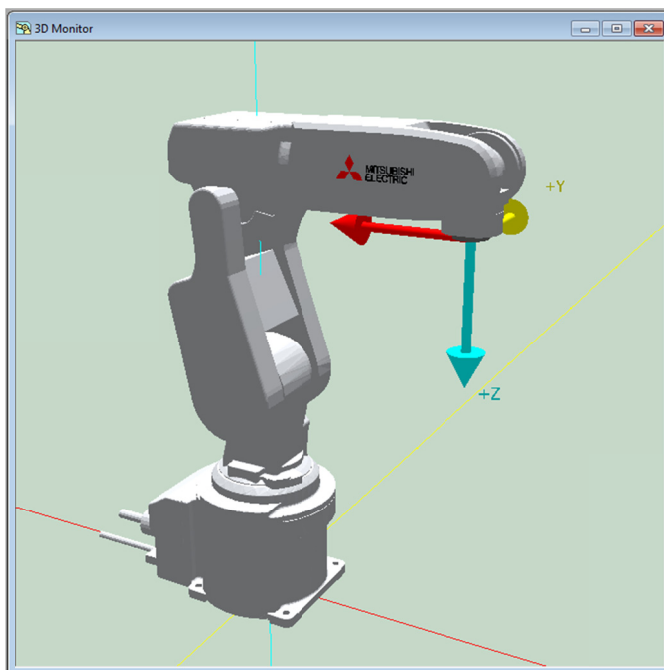
Tento režim je vhodný pro zkoumání, úpravu, kontrolu a simulaci napsaných programů. V simulaci můžeme vidět, jak robot bude pracovat, chovat se a také například i spolupracovat s ostatními roboty nebo jeho koordinaci v prostoru s ostatními perifériemi. Můžeme objevit různé chyby, které by při programování mohly nastat, jako například špatné polohování, načasování, spolupráce, atd...

Kontrola a odladění programu v simulačním režimu se doporučuje vždy před propojení s ŘJ robotu!



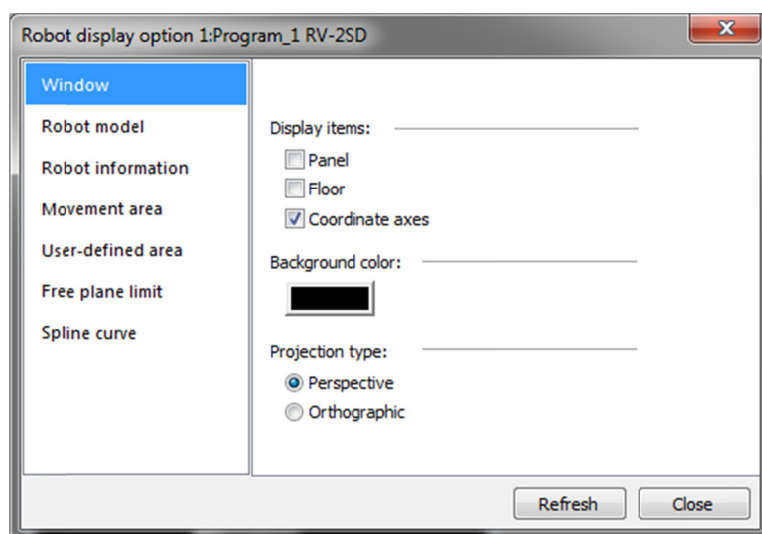
Obr. 31 - Online - simulační režim

V simulačním režimu lze zapnout 3D monitor (Obr. 32) a můžeme pozorovat pohyby robotu. 3D monitor si můžeme upravovat podle vlastních potřeb (Obr. 33). Například lze zapnout zobrazení podlahy, koordinační systém, drátěný model robotu, postranní panel, který nám zobrazuje natočení jednotlivých kloubů, bezpečnostní roviny nebo oblasti nastavené uživatelem, kreslení křivky pohybu dále také změnu barvy pozadí, změnu projekce a další.



Obr. 32 - 3D monitor

Cesta pro editační okno pro 3D monitor: Nutno kliknout do okna s 3D monitorem (při otevřeném editovacím okně), posléze kliknout na „3D View“ na horní liště a pokračovat na „Robot display option“.



Obr. 33 - Editační okno pro 3D monitor

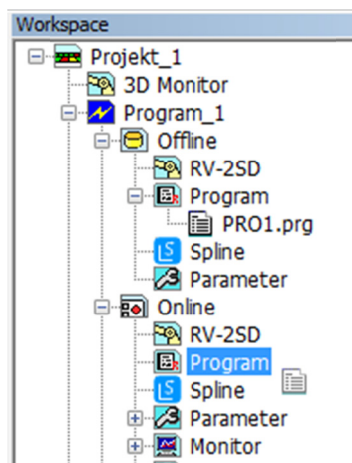
Rovněž máme k dispozici ovládací panel (Obr. 34), na kterém můžeme simulovat pohyby robotu. Jsou zde k dispozici základní tlačítka potřebná pro ovládání robotu, ovládání rychlosti, ale také například tlačítko pro zobrazení aktuální chyby a její reset, přesun do „domácí polohy“. Polohu lze měnit buď přepsáním čísla v rámečku, pomocí symbolů „-/+“ a rovněž posuvníky pro rychlejší změnu polohy. Polohovat lze několika způsoby – Joint, XYZ, TOOL, 3-axis XYZ, Cylinder, WORK.



Obr. 34 - Ovládací panel

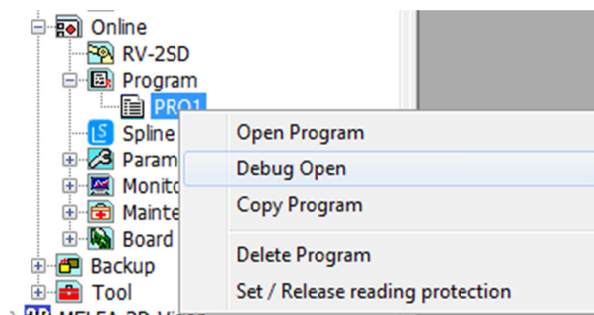
Nahrání programu z „Offline“ do „Online“

Nahrání provedeme jednoduše označením našeho programu (PRO1) a přetažením pomocí myši do „Program“ v Online režimu (Obr. 35).



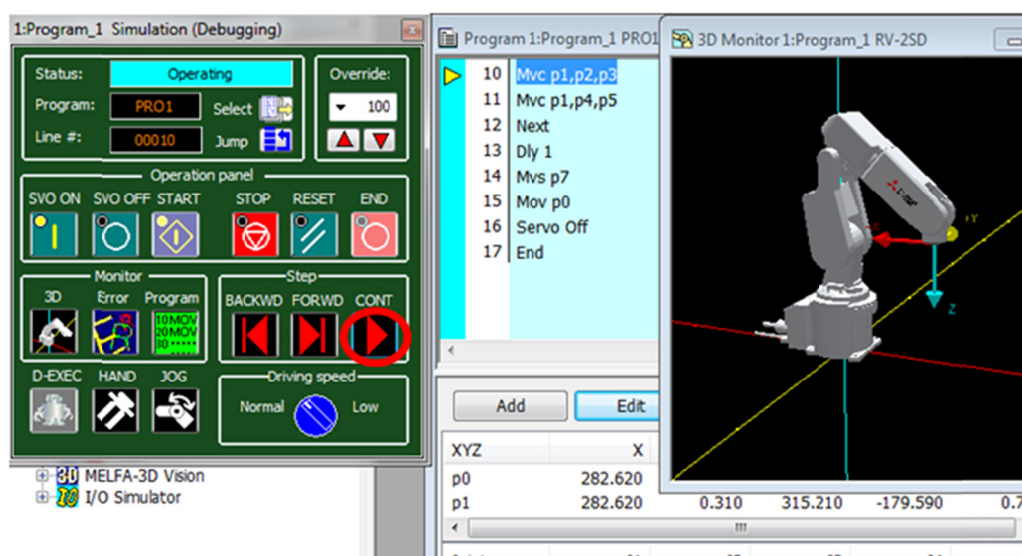
Obr. 35 - Nahrání programu

Pro spuštění programu v ukázkové simulaci je nutno zvolit možnost „Debug Open“ (Obr. 36).



Obr. 36 - Možnosti akce

Pro spuštění simulace stačí jen kliknout na ovládacím panelu na tlačítko „CONT“ pro kontinuální nebo „FORWD“ pro krokovací simulaci (Obr. 37).



Obr. 37 - Ukázka simulace

Po kontrole a odladění programu v simulačním režimu (doporučuje se použít vždy před propojení s ŘJ!) je možno propojit program s ŘJ robotem pomocí tlačítka „Online“ (Obr. 38).



Obr. 38 - Online režim

5.2. Další funkce softwaru

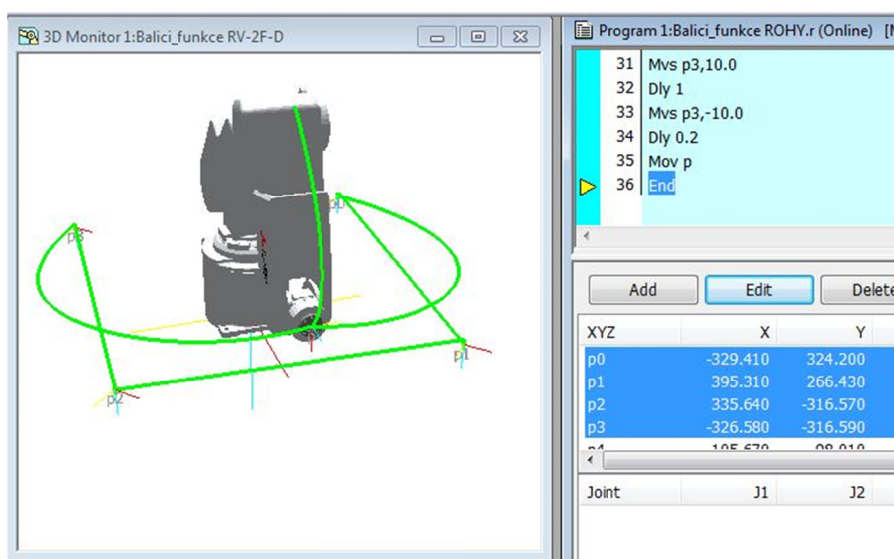
Software RT ToolBox 2 má nespočet dalších funkcí, které lze naprogramovat a tím více kontrolovat řízení, směr pohybu a mnoho dalšího. I když to není podstata diplomové práce, rád bych uvedl několik těchto funkcí, které jsou zajímavé a užitečné pro programování a vizualizaci a dále pak zvláště vhodné pro bezpečnost pracoviště.

Křivka pohybu a polohovací body

Vykreslování křivky pohybu a ukázka polohovacích bodů (Obr. 39) na 3D monitoru v simulačním režimu je funkce, se kterou si můžeme zjišťovat trajektorii robotu a tím se vyvarovat kolizí s ostatními perifériemi v pracovním prostoru, se kterými může spolupracovat.

Funkce vykreslování pohybu: „3D View – Robot display option – Robot model – Robot path“.

Pro vykreslování bodů stačí jen označit body, které chceme označit na 3D monitoru (Obr. 38).

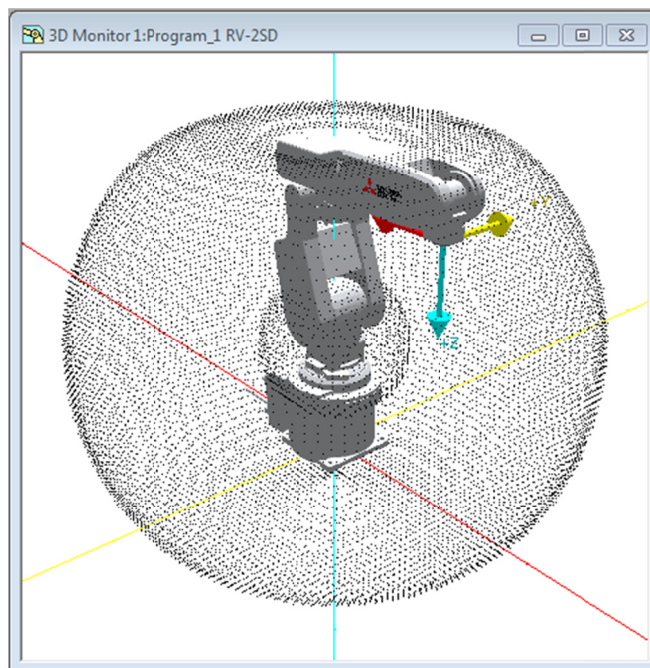


Obr. 39 - Vykreslování křivky s body

Pracovní prostor robotu

S funkcí „Display the movement area“ si můžeme zobrazit ve 3D monitoru plochu, ve které je robot schopen pracovat a vykonávat pohyby.

Funkce zobrazení pracovního prostoru robotu (Obr. 40): „3D View – Robot display option – Robot model – Movement area“.



Obr. 40 - Pracovní prostor robotu

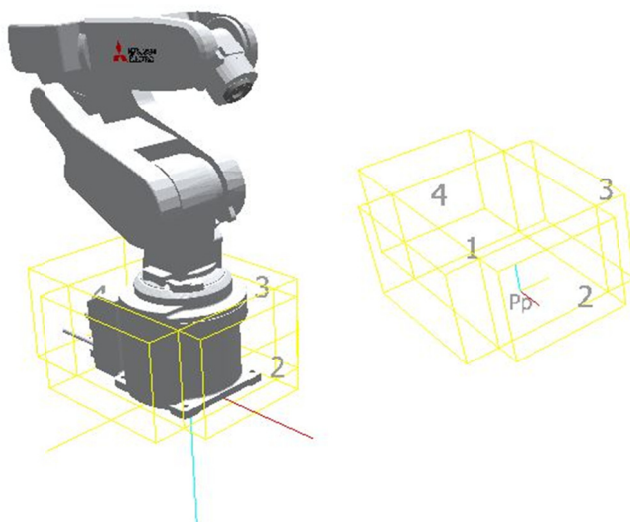
Bezpečnostní prostory

Program RT ToolBox 2 má k dispozici také bezpečnostní prvky, které lze nastavit v pohybových parametrech robotu (Obr. 42), a které po nahrání do ŘJ, robot nesmí narušit, jinak dojde k vyhodnocení chyby a robot okamžitě zastaví funkci. Do těchto bezpečnostních funkcí spadá například nastavení rovin, jednotlivých ohraničení s parametry nastavenými uživatelem, bezpečný „obal“ robotu, aj.

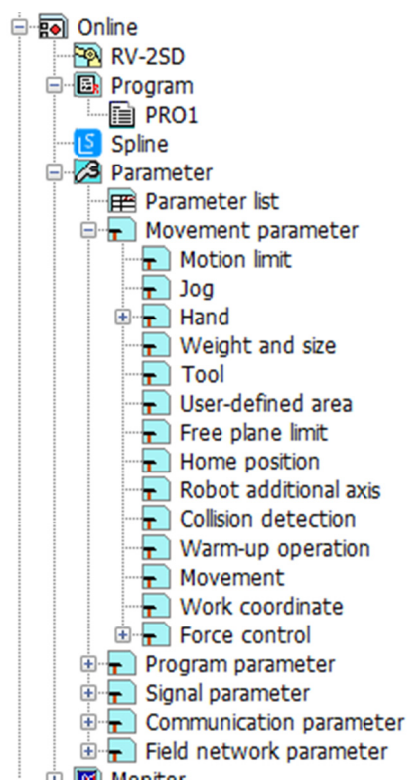
Pro příklad je zde uveden bezpečnostní prostor nastavený uživatelem, který chrání základnu robotu proti nechtěnému nárazu příruby nebo nástroje (Obr. 41).

Funkce nastavení bezpečnostního prostoru: „Parameter – Movement parameter – User-defined area“.

Ohraničení lze také zapnout ve 3D monitoru: „3D View – Robot display option – User-defined area“.



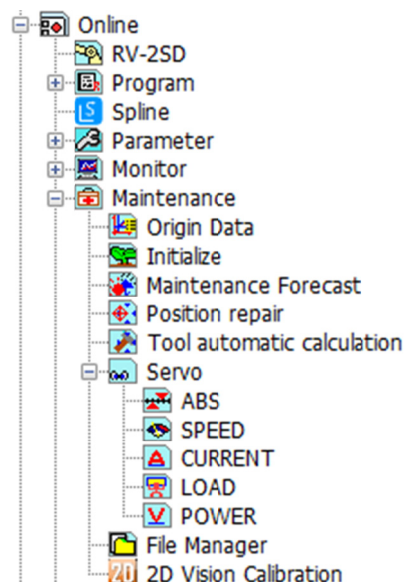
Obr. 41 - Prostor definovaný uživatelem



Obr. 42 - Pohybové parametry

Další monitorovací funkce programu

Ve stromě programu (Obr. 43) si také můžeme najít a kontrolovat další různá a užitečná data týkající se robotu a jeho zatížení motorů, atd. Můžeme kontrolovat jednotlivé servo motory robotu a jejich rychlosti v jednotlivých osách, jejich proudové zatížení, momentové zatížení a jejich napájení. Například „Maintenance Forecast“ slouží pro kontrolu výdržnosti baterií, řemenů, mazání.

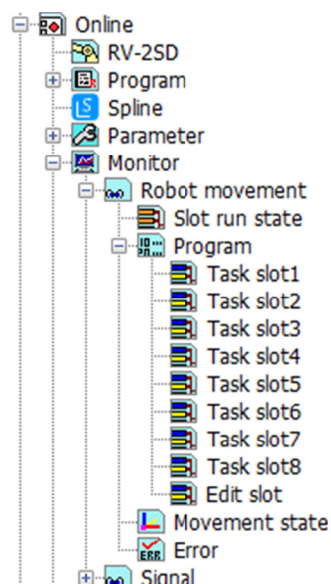


Obr. 43 - Další monitorovací funkce

Možnosti vizualizace programu

Můžeme sledovat a kontrolovat právě běžící program pomocí „Edit slot“ a také lze v softwaru nastavit běh více programů najednou, které spolu budou ve vzájemné koordinaci. V jednotlivých slotech můžeme nastavit programy, které budou pracovat v „pozadí“ a budou současně ovlivňovat hlavní program, který právě běží. Takové nastavení se provádí v nastavení jednotlivých slotů (Obr. 44).

Takovou spolupráci demonstruje vytvořená úloha - „Funkce generování náhodného čísla a výběru pohybu ramen“, která pracuje na principu generování náhodného čísla ve slotu 2 a ve slotu 1 běží program, který vyhodnocuje proměnnou **a** podle ní určuje, jaký pohyb bude robot vykonávat - Obr. 48 - Monitoring programů.



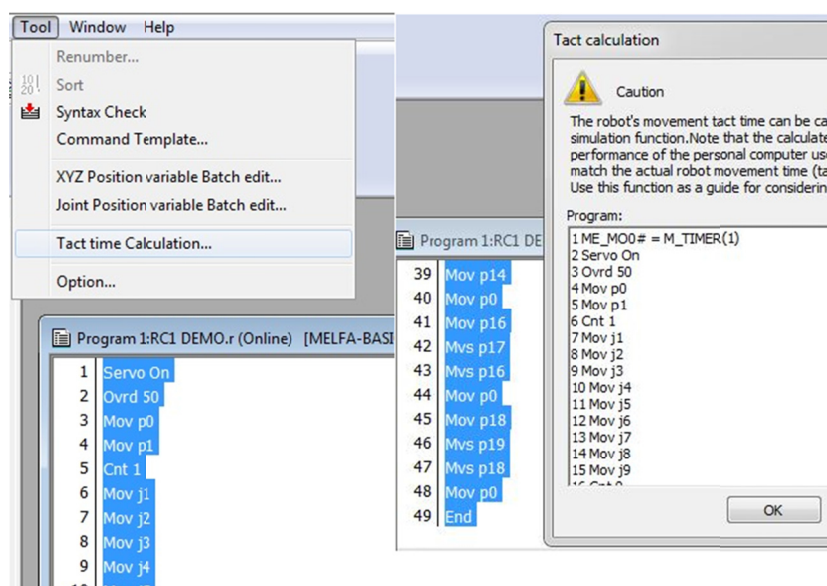
Obr. 44 – Nastavení programů ke spolupráci

Počítání teoretického času běhu programu

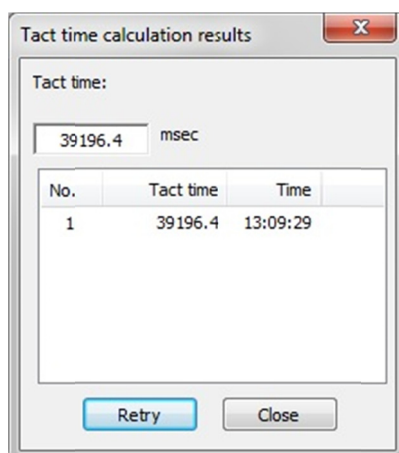
Pro výpočet teoretického času napsaného programu a zjištění doby, za kterou robot zvládne vykonat jednotlivé úkony, slouží funkce počítání doby / taktu. Můžeme si změřit čas, za který robot vykoná celý program, nebo jen jeho část.

Pro výpočet je nejprve nutno označit začátek a konec počítání doby, posléze zapnout tuto funkci. Po zapnutí je nám sděleno, že robot nyní bude kalkulovat námi vybranou oblast programu (Obr. 45). Po vypočtení je nám zobrazena tabulka s výsledným časem programu (Obr. 46), ve které se výsledky ukládají a například po změně rychlosti „Ovrd“, můžeme spustit kalkulaci znovu a porovnávat jednotlivé časy.

Funkce počítání doby / taktu: „Tool – Tact time Calculation...“



Obr. 45 - Počítání doby / taktu



Obr. 46 - Tabulka s vypočteným časem

5.3. Vzorové úlohy

V kapitole jsou uvedeny vzorové úlohy spolu s popisem výukových robotických programů, které jsem v souladu se zadáním diplomové práce navrhl, naprogramoval a odladil. Programy jsou podrobně rozebrány v příloze této zprávy. Tato kapitola obsahuje následující robotické programy:

- 1) Ukázka pohybů robotu a efektoru
- 2) Přemísťování objektů
- 3) Další funkce robotu

Všechny uvedené robotické programy, spolu s popisem příkazů, jsou rozebrány v příloze: B - Popis robotických programů.

Programy jsou taktéž nahrány v ŘJ robotu a uloženy v PC na katedře robotiky pro použití v softwaru RT ToolBox2 pod názvem: Diplomovy_projekt.

1) Ukázka pohybů robotu a efektoru

Program „DEMO“ demonstruje rozsahy a různé pohyby, včetně kartézské i kloubové interpolace robotu RV2-SD, s různými rychlostmi a také s ukázkou efektoru.

Tento robotický program je nejjednodušší na ukázkou a prezentaci softwaru a robotu.

2) Přemísťování objektů

Program „PH1“ demonstruje úlohu, ve které robot přemísťuje OM (v tomto případě dřevěné kostky, které se nacházejí na katedře robotiky) a sestaví z nich jednoduchou pyramidu. Tato úloha má prezentovat mobilitu robotu a také použití efektoru v praxi.

Tento robotický program je již mírně pokročilý v náročnosti, protože je již nutno více přemýšlet a mít logické uvažování o dalším kroku v operaci.

3) Další funkce robotu

Následující kapitola obsahuje přehled dalších robotických programů a funkcí, kterými robot disponuje, a jsou taktéž velmi užitečné v oblasti průmyslu.

Paletizační funkce a detekce kolize

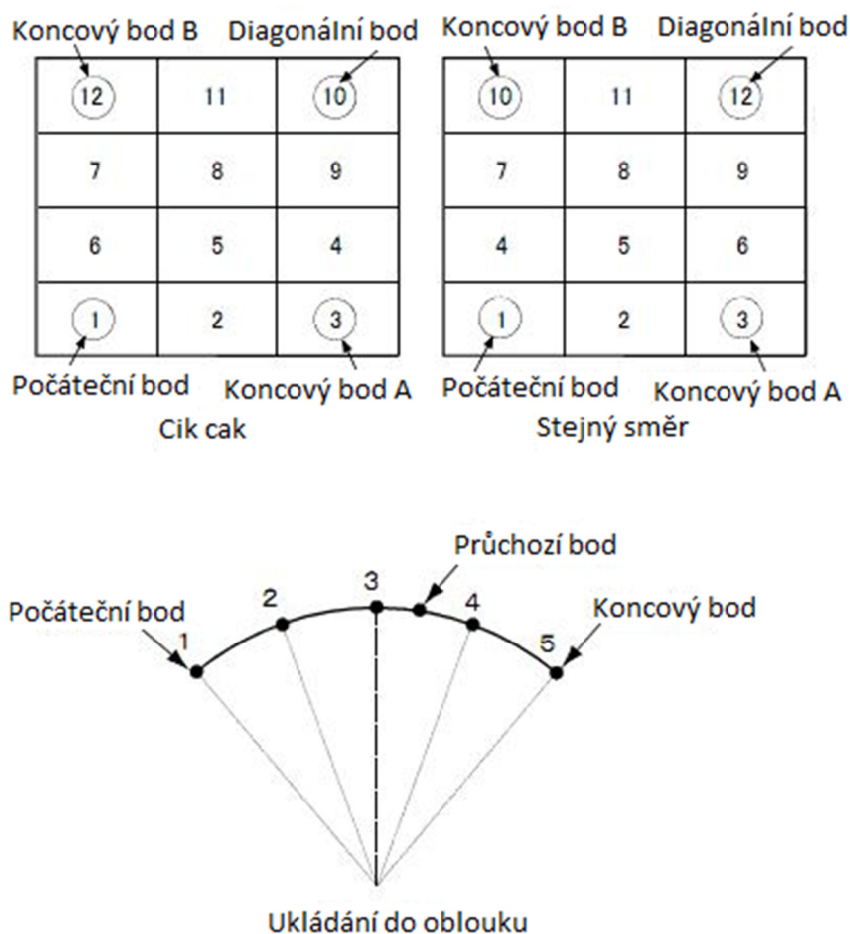
Program „CPLT“ demonstruje ukázkou paletizační funkce, která slouží převážně pro sběr výrobků, které přijíždí například na dopravním pásu a následné ukládání těchto

výrobků na připravené palety, které jsou posléze připraveny k další manipulaci. Existuje několik druhů těchto funkcí, které lze použít v softwaru (Obr. 47). Zároveň tento program zahrnuje funkci detekce kolize v 6ti osách, která hlídá robot při nechtěné kolizi například do periférií a chrání robota, nástroj a popřípadě i obsluhu. Lze nastavit procentuální hodnoty hlídání kolize, které robot nesmí překročit, jestliže se tak stane, robot ihned zastaví svou činnost. Funkce dále také obsahuje navrácení činnosti po případné kolizi. Musím upozornit, že funkce detekce kolize není bezpečnostní funkce.

Při použití funkce detekce kolize musíme brát ohled na fyzikální zákony, které mohou omezovat tuto funkci (moment setrvačnosti, rychlosti ramen).

Jestliže chceme využívat tuto funkci, musíme ji mít povolenou v nastavení softwaru - „Online – Parameter – Movement parameter – Collision detection“.

Je doporučeno, aby robot dokončil svou činnost (program), protože při předběžném vypnutí programu, bude stále zapnutá detekce kolize s navolenými hodnotami, a tudíž se robot při jiném spuštění programů nemusí chovat správně.



Obr. 47 - Ukázka paletizačního systému

Funkce generování náhodného čísla a výběru pohybu ramen

Program „RNDM“, zároveň spolupracuje s programem „RNDN“, ve kterém se v podprogramu generuje náhodné číslo. V programu „RNDM“ se posléze, díky vygenerovanému a vyhodnocenému číslu, vybere pohyb, který je nastaven pro toto číslo.

Pro kooperaci programu je nutno nastavit požadované sloty, které nalezneme:

„Online – Parameter – Program Parameter – Slot table“

- 1) Do slotu „1“ nastavíme program RNDM s podmínkami:

MODE: REP; Conditions: START; Priority: 1

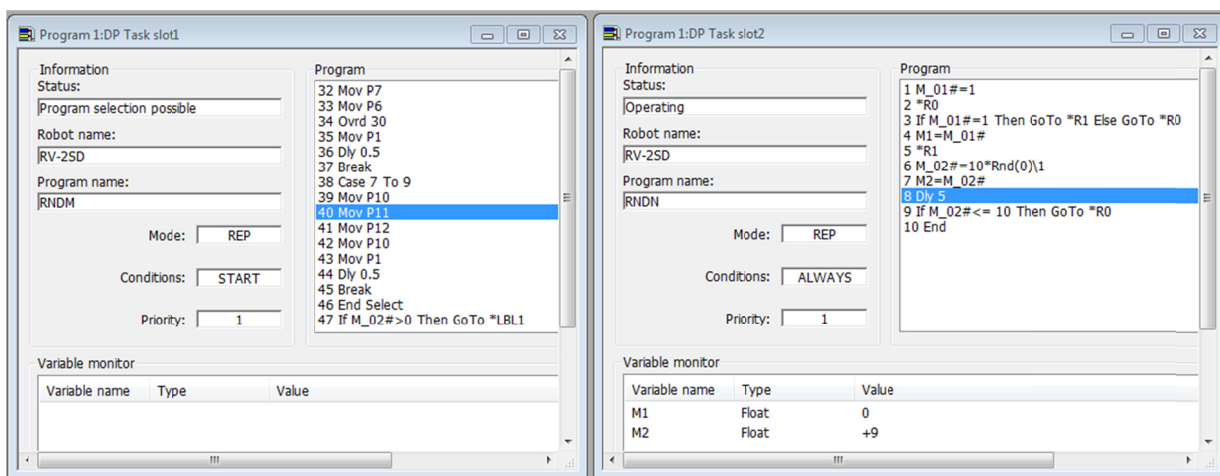
- 2) Do slotu „2“ nastavíme program RND s podmínkami:

MODE: REP; Conditions: ALWAYS; Priority: 1

A zapíšeme hodnoty do řídicí jednotky.

Pro vizualizaci programů lze zobrazit požadované okna touto cestou:

- 1) „Online – Parameter – Monitor – Robot movement – Slot run state“ – monitoring programů, které právě probíhají v ŘJ
- 2) „Online – Parameter – Monitor – Robot movement – Program“ – zde je možnost otevřít více oken a pozorovat, jak program spolupracuje. Lze přidat vizualizaci proměnného čísla (Obr. 48) a ve 3D monitoru pozorovat, jaké pohyby robot provádí při měnícím se čísle.

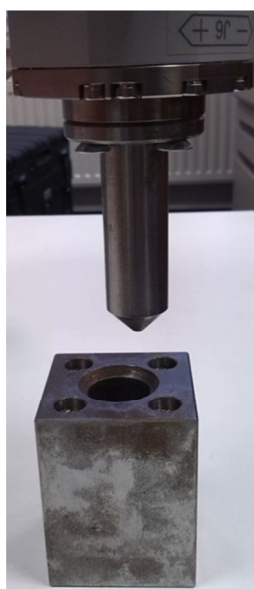


Obr. 48 - Monitoring programů

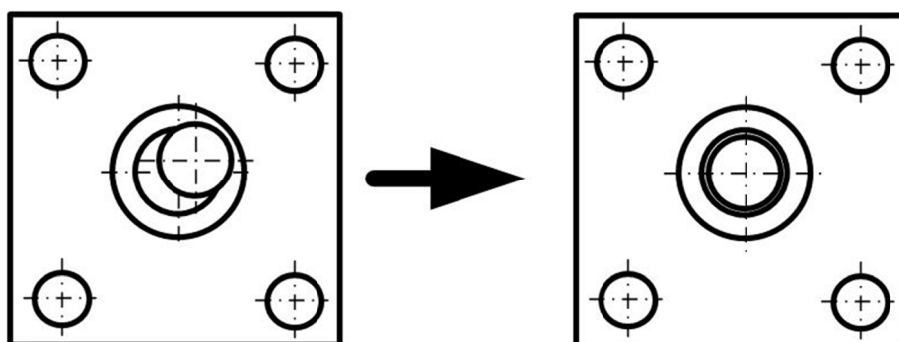
Funkce uvolnění ramen robotu

Program „CMP“ spočívá v uvolnění tuhosti ramen o několik procent. Při použití této funkce je schopen robot například správně zkompletovat součástky, které jsou symetrické – ukázka kompletace hrotu do kostky (Obr. 49). Robot tedy nemusí mít přesně danou polohu a i přesto umí zkompletovat díly nebo součástky, které byly například špatně uloženy nebo upevněny do přípravku. Pro znázornění funkce viz Obr. 50.

Je doporučeno, aby robot dokončil svou činnost (program), protože při předběžném vypnutí programu, bude stále zapnutá funkce uvolnění ramen s navolenými hodnotami, a tudíž se robot při jiném spuštění programů nemusí chovat správně.



Obr. 49 - Ukázka uvolnění ramen



Obr. 50 - Zobrazení uvolnění ramen

Další úlohy k dispozici

Software RT ToolBox2 nabízí také různé možnosti vytvoření vlastního virtuálního pracoviště, ve kterém si můžeme kontrolovat provoz robotu například s dalšími perifériemi, se kterými bude v koordinaci. Tento návod jsem vytvořil a lze ho najít v příloze: C - Vytvoření pracoviště v RT ToolBox2.

Také lze vytvořit pracovní nástroj, se kterým robot pracuje. Návod na vytvoření efektoru lze najít v příloze: D - Vytvoření efektoru v RT ToolBox2.

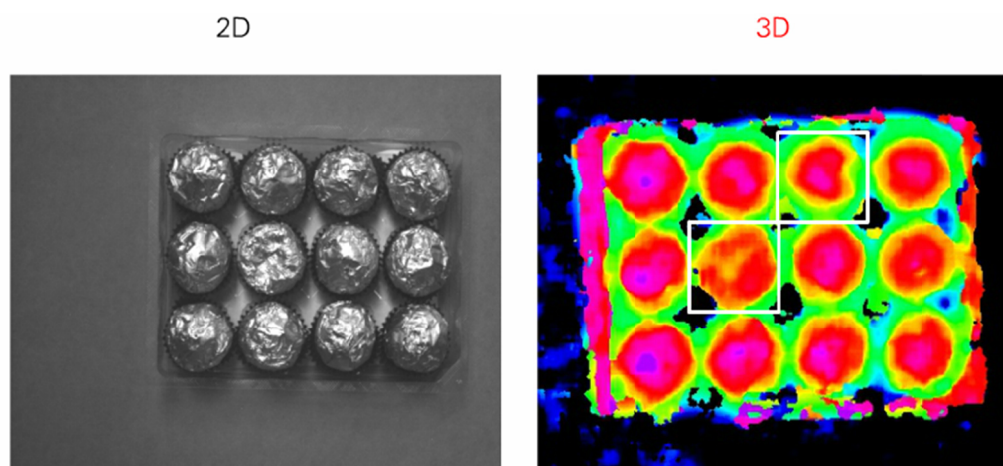
Ohledně zabezpečení pracovního prostoru robotu a bezpečnosti periférií, obsluhy a také robotu samého, lze v softwaru nastavit bezpečností pracovní roviny, které budou hlídat robot, aby nepřekročil nastavené meze. Robot posléze může pracovat vně nebo vevnitř těchto rovin. Návod na nastavení těchto rovin lze najít v příloze: E - Vytvoření roviny v RT ToolBox2.

6. 3D strojové vidění

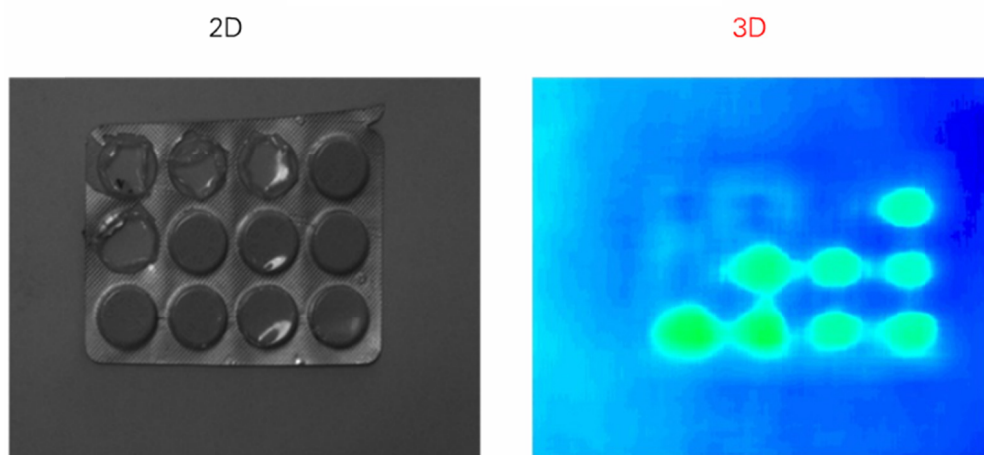
Zařízení, které pomocí kamer zpracovává obraz ve 3D pohledu. Tato informace je počítačově zpracována a posléze slouží pro výrobní a průmyslové systémy. Výsledek algoritmu pak slouží jako vstupní informace pro automatizované rozhodování stroje nebo informačního systému. Typickým systémem strojového vidění může být kamerová kontrola kompletnosti výrobku v rámci výrobní linky. Na základě kamerového testu se pak označí výrobky, které jsou neúplné nebo jinak vadné. Do systému strojového vidění patří navádění robotů ale také bezdotyková měření rozměrů, kontrola barev a potisků apod. [10]

Praktické porovnání 2D a 3D pohledu:

- zjištění, který objekt je nejvyšší
- zjištění, které objekty chybí
- zjištění deformace objektu



Obr. 51 - Ukázka 2D a 3D pohledu I



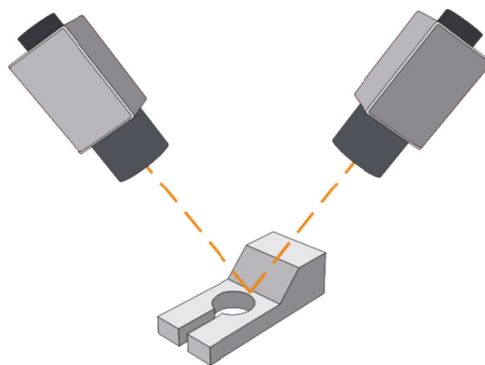
Obr. 52 - Ukázka 2D a 3D pohledu II

V této kapitole je dále uvedeno několik různých technik 3D strojního vidění, které se používají v průmyslu a automatizaci. Dále pak popis, jak fungují a následně jejich použití v praxi a také společnosti, které vyrábí kamery a komponenty pro tyto jednotlivé techniky.

Stereovize – Technika, při které se používá více kamer (Obr. 53), které monitorují předmět z různých úhlů tak, že můžeme spojit jednotlivé body a posléze kalibrací dostaneme z těchto vzdáleností informace o výšce anebo hloubce předmětu (Obr. 51, Obr. 52). Na stejném principu pracuje lidské vidění. Technika se považuje za pasivní, protože není potřebný laserový zdroj nebo pohyb předmětu. Vzhledem k tomu, že předmět můžeme analyzovat jako celek, je často rychlejší než laserová triangulace. Také nejsou použita žádná nebezpečná záření, takže není potřeba bezpečnostních prvků pro tyto účely. Další přednosti zahrnují cenu, protože se používají 2D kamery a ne specializované, možnost použití na větší vzdálenosti a šířku vidění a schopnost rozlišit větší topografické rozdíly. Bohužel rozlišení stereovize je značně menší proti laserové triangulaci, ale obě tyto metody mají své specifické využití v praxi.

Aplikace a využití v praxi

- Průmyslový robot – vykládání palet, vybírání předmětů, aplikace, kde se snažíme najít předmět v prostoru nebo potvrdit jeho přítomnost při kontrole kvality.
- Řízení autonomních robotů – detekce a vyhledávání předmětů anebo plánování dráhy okolo předmětů.



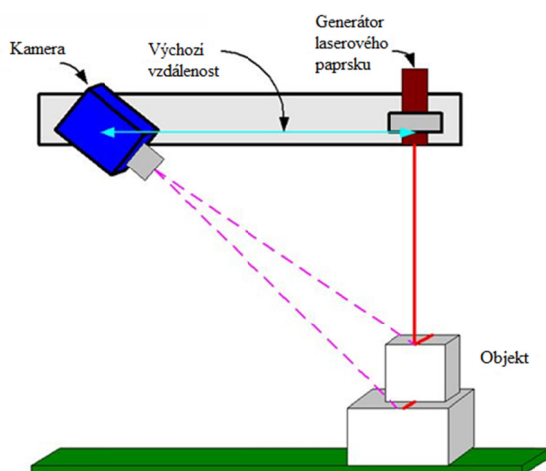
Obr. 53 - Stereovize

Více informací ohledně stereovize a firmě ATEsystem s.r.o., která poskytuje kamery pro tento princip - viz [11].

Laserová triangulace – Na objekt se promítá laserová čára a posléze se kamerou pozoruje tvar této čáry (Obr. 54). Na základě zkreslení tvaru čáry dostaneme následně informace o profilu daného průřezu snímaného tělesa. Pro získání celé geometrie tělesa je nutno opakovat tento postup v dostatečném množství průřezu.

Aplikace a využití v praxi

- Přesnější vidění při kontrole kvality – metrologie, potřeba vyššího rozlišení - výpočet objemu předmětu, vyhledávání defektů a nerovností povrchu, porovnávání předmětů s CAD soubory
- Přesné 3D vidění na skenování – reverzní inženýrství, získávání 3D modelů pro zdravotnické (zubní protézy) nebo průmyslové potřeby

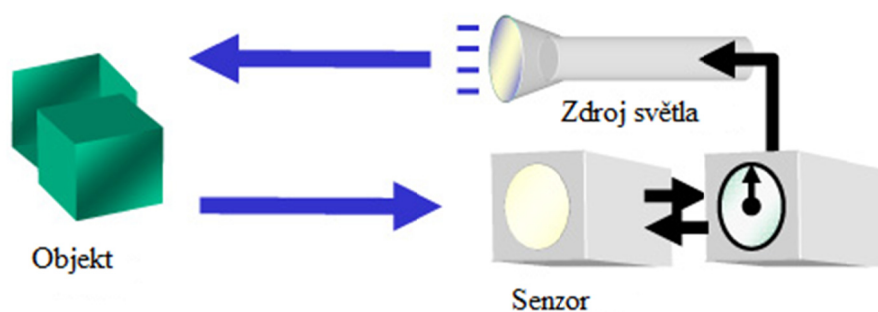


Obr. 54 - Laserová triangulace

Více ohledně laserové triangulace a firmě Micro-Epsilon, která se zabývá tímto principem snímání - viz [12].

Doba letu (ToF – Time of Flight) – Používá se zdroj světla, který je synchronizovaný s přijímačem. 3D obrázek posléze dostaneme na základě doby, kterou puls světla potřebuje na to, aby dorazil k objektu a odrazil se od něho zpět (Obr. 55).

Vhodné pro použití v průmyslové automatizaci, logistice, robotice a také pro autonomní řízení vozidel (navigace, vyhýbání se překážkám).

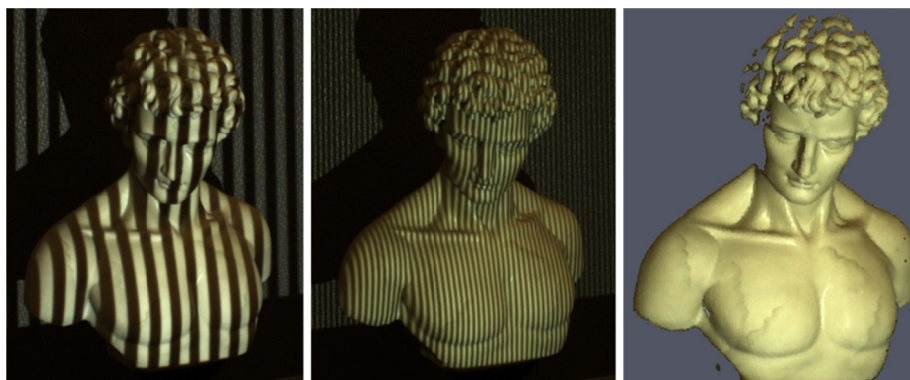


Obr. 55 - Doba letu – ToF

Více ohledně ToF a společností ATEsystem s.r.o., která poskytuje kameru Basler, která pracuje na ToF principu - viz [13].

Strukturované světlo – Na předmět se promítá dopředu známá šablona světla (mřížky nebo vodorovné pruhy) a tvar tělesa dostaneme na základě prostorového zkreslení (Obr. 56).

Techniku používá například Kinect – promítání infračervené šablony na tělo (Obr. 57 - Strukturované světlo - Kinect).



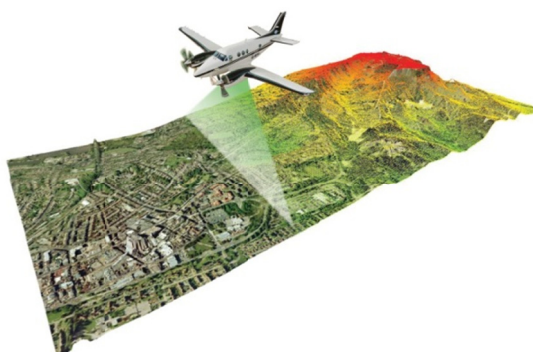
Obr. 56 - Strukturované světlo - ukázka šablony



Obr. 57 - Strukturované světlo - Kinect

Více informací ohledně strukturovaného světla a firmě ATEsystem s.r.o., která poskytuje kamery pro tento princip - viz [14].

LIDAR (Light Detection And Ranging) – metoda dálkového měření vzdálenosti na základě výpočtu doby šíření pulsu laserového paprsku odraženého od snímaného objektu (Obr. 58). Použití pro měření vzdáleností, mapování terénu, měření vzdálenosti atmosférických jevů aj. Výsledkem mapování je mračno bodů, které se po zpracování může interpolovat do podoby digitálního modelu povrchu či 3D modelů budov a jiných objektů.



Obr. 58 - Technologie LIDAR a mapování terénu

Více informací ohledně LIDAR technologie a společnosti, která poskytuje kamery pro tento princip viz [15], [16].

Níže v Tab. 6 můžeme vidět porovnání tří hlavních principů, které se používají ve 3D strojovém vidění, jejich vlastnosti, výhody a nevýhody a taky aplikace, ve kterých se využívají.

Vlastnosti	Stereovize	Strukturované světlo	Době letu (ToF)
Složitost softwaru	Velká	Střední	Nízká
Cena vybavení	Nízká	Velká	Střední
Kompaktnost	Nízká	Velká	Nízká
Doba odezvy	Střední	Pomalá	Rychlá
Přesnost hloubky	Nízká	Velká	Střední
Spolehlivost - slabé osvětlení	Slabá	Dobrá	Dobrá
Spolehlivost - jasné osvětlení	Dobrá	Slabá	Dobrá
Spotřeba energie	Nízká	Střední	Rozšířená
Rozsah	Limitován	Rozšířená	Rozšířená
Aplikace			
Hry		X	X
3D filmy	X		
3D skenování		X	X
Ovládání uživatelského rozhraní			X

Tab. 6 - Porovnání principů 3D strojového vidění

Potřebné údaje získány ze zdroje – viz [17].

6.1 Současný stav

Na katedře robotiky je k dispozici zařízení od firmy ATSystem s.r.o., které slouží pro 3D strojové vidění (Obr. 59). Systém se ovládá pomocí stolního počítače, který díky softwaru LabVIEW a jeho zásuvným modulem (viz kap. 6.2 Software LabVIEW) vyhodnocuje obraz z kamer. Tento software, spolu se zásuvným modulem, taktéž poskytla výše uvedená firma. Zařízení se skládá z hliníkových profilů, na kterých jsou umístěny dvě kamery acA 1600-60gm s objektivy M1214-MP2, které snímají obraz a rastrový projektor, který promítá potřebný rastr na objekty, který pomáhá při čtení výšky objektů. Seznam použitých komponentů, které byly dodány, viz Tab. 7.



Obr. 59 - 3D strojové vidění

Název položky	Počet kusů
Kamera acA 1600-60gm	2
Cable GigE Cat 6, S/FTP, 2xRJ-45	2
Power-I/O Cable HRS 6p/open, twisted	1
GigE Card PCIe AdLink GIE62+	1
Objektiv M1214-MP2	2
Stolní počítač, i7, Win7	1
LabVIEW Multi licence jen pro výuku	1
Projektor EFFI-Lase-CM_C02_525	1
Objektiv pro projektor KOWA LM25HC	1
Filtr IF BP 540-80HT SN1 30.5	2
Napájecí zdroj 24 VDC 1,5A	1
Kloubový držák EFFI-Lase	1
Držák kamery Basler ace	2
Mechanika a držáky	1

Tab. 7 - Komponenty 3D strojového vidění

6.2 Software LabVIEW

Software, od společnosti National Instruments, pomocí kterého lze vytvářet grafické vývojové prostředí pro návrh systémů. Vysoce produktivní vývojové prostředí pro tvorbu vlastních aplikací, které jsou v interakci s reálnými daty nebo signály v oblastech jako je věda a technika. LabVIEW obsahuje řadu složek a zásuvných modulů, z nichž některé jsou nezbytné pro jakýkoliv druh testu, měření nebo kontrolní aplikace. [18]

- Programovací jazyk G – Programování pomocí diagramů a bloků, které se dají lehce provázat a následně čerpat data a analýzy.

- Hardware podpora – Podpora pro tisíce hardwarových zařízení, včetně vědeckých a záznamových zařízení, senzory, kamery, motory a pohony, aj.

- Analýza a technické knihovny – Knihovny na zpracování signálů, řídicí algoritmy, funkce, komunikace, konektivita a další*.

- Uživatelské rozhraní a nástroje pro vytváření přehledů – Interaktivní ovládací prvky, jako jsou grafy, měřidla a tabulky pro zobrazení dat, uložení souborů nebo databází nebo automatické generování zpráv.

- Modely výpočtů – Simulace, textová matematika, diagramy stavů, začlenění a opakované použití stávajícího kódu.

* Informace ohledně zásuvných modulů a jejich využití lze najít v literatuře viz [19].

Další informace ohledně programování lze najít ve skriptech viz [20] a v dokumentu o programování viz [21].

6.3 Potřebné úpravy pracoviště

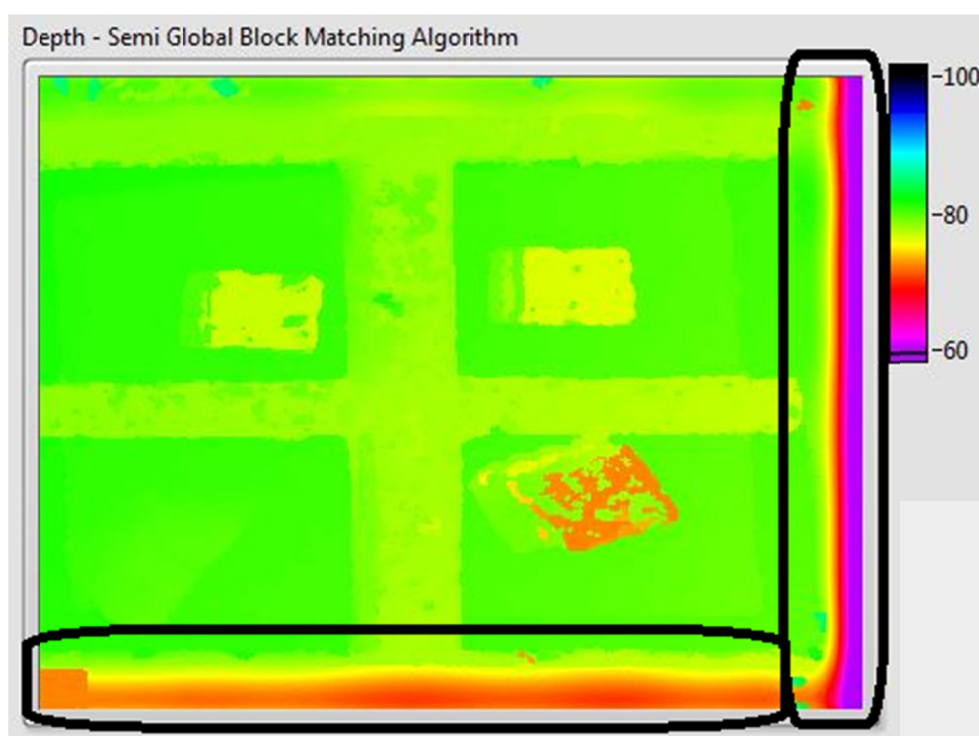
Pro spolehlivé snímání obrazu je nezbytné nastavení kamer a jejich kontrastu, protože při vysokém nastavení kontrastu bude obraz moc světlý a nebudeme moct číst hloubku obrazu a rozeznat objekty ve snímaném poli. Taktéž při nízkém nastavení kontrastu bude obraz zase moc tmavý. Proto musíme dbát na nastavení kamer a také brát v úvahu světelné podmínky v místnosti. Každá kamera má své nastavení kontrastu, které se upravuje pomocí nastavitelného kolečka nad objektivem.

Odlesk předmětu a podlaží, ve snímaném poli, může taky zkreslit potřebné snímání a narušit běh programu. Doporučuji tedy používat předměty nejlépe matné, bez lesklého povrchu a podlaží bílé.

Dalším důležitým krokem je správná kalibrace kamer pomocí připraveného programu a kalibrační mřížky. Kalibrace by měla být provedena v rovině, která pomyslně dělí snímaný objekt na dvě části stejné výšky. Při nesprávné kalibraci můžeme například objevit na snímaném obrazu různé rušení. Způsob kalibrace je ukázán na dodaném materiálu od společnosti ATEsystem s.r.o. a lze ji nalézt v příloze: F - Kalibrace stereovize. Správný postup kalibrace také viz [22] a v ukázkových úlohách přímo v software LabVIEW (“Help – Find Examples... - Toolkits and Modules – Vision – Stereo Vision”).

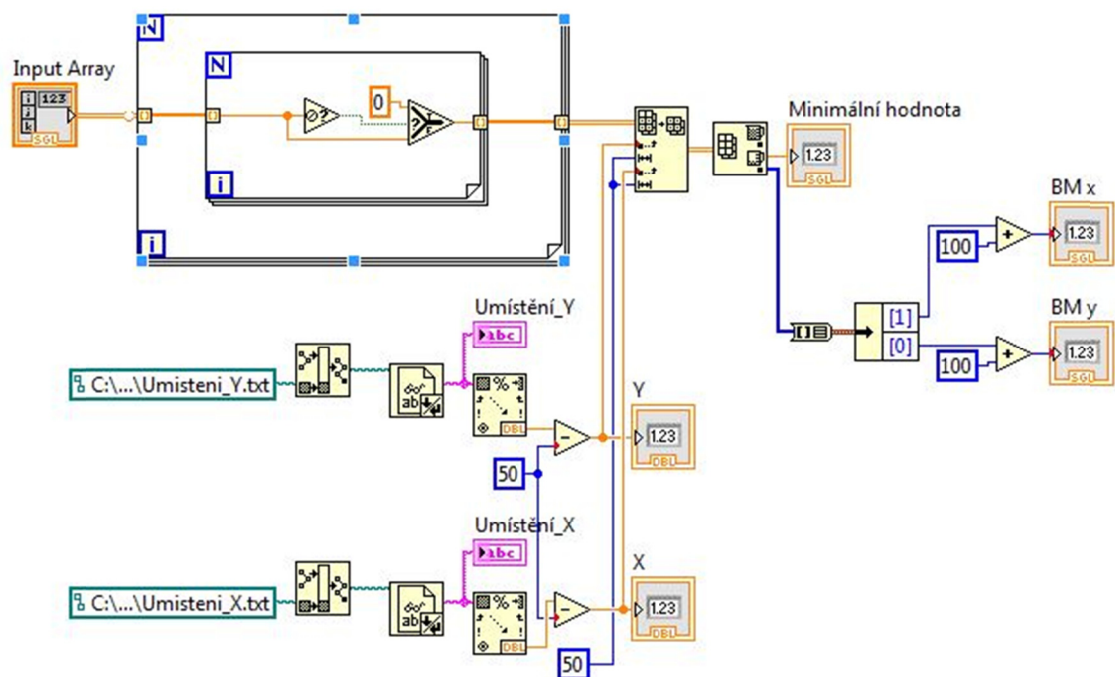
Na objekty se posléze promítá rastr, který napomáhá při snímání obrazu pro výpočet výšky obrazu. Tento rastr by měl být také nastaven v pomyslné rovině uprostřed snímaného objektu. Nastavení tohoto rastru lze měnit přímo na kameře pomocí nastavitelného kolečka nad objektivem.

Musíme brát také v úvahu, že algoritmus používaný pro výpočet hloubky obrazu není 100% přesný a mohou se vyskytovat různé nepřesnosti a chyby v obraze, jako například různé rušení, výškové nepřesnosti – hlavně v krajních polohách. Ukázka chyby v krajní poloze viz Obr. 60.



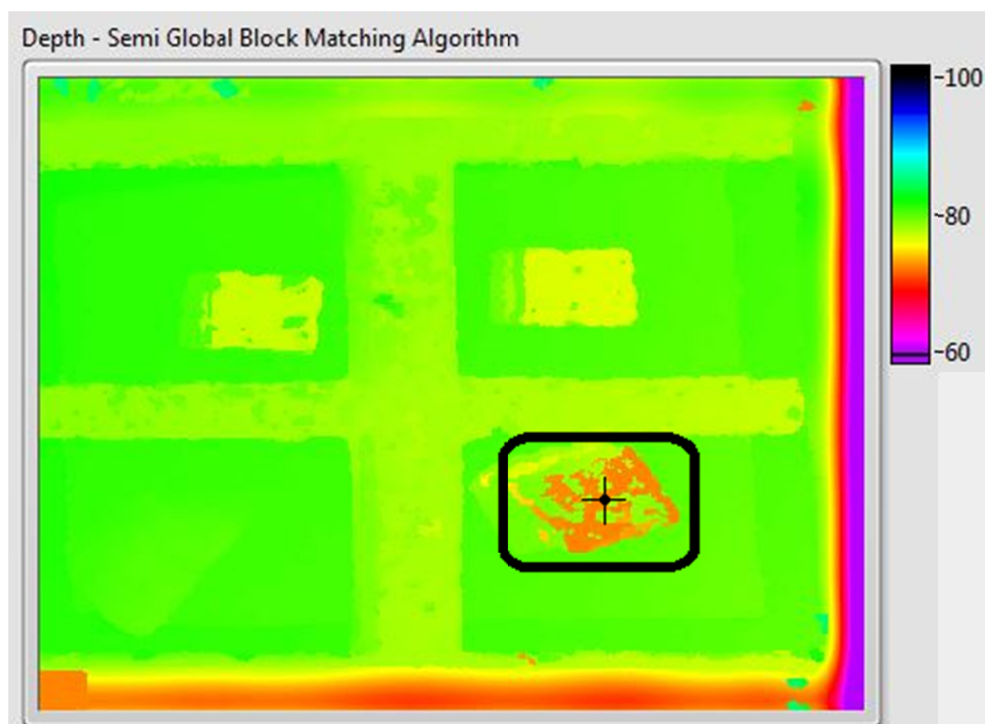
Obr. 60 - Stereovize - chyba v krajní poloze

Pro anulaci chyby v krajní poloze se doporučuje ořezat snímaný obraz, ze kterého budeme číst hloubku objektu. Pro vzorovou úlohu byla vytvořena aplikace, která z daných pixelových souřadnic, vykresluje pouze část obrazu, ze kterého budeme snímat tuto hloubku - Obr. 61.



Obr. 61 - Ukázka programu - úprava výřezu snímání výšky

Po úpravě s funkcí ořezání obrazu, bude výsledný obraz, ze kterého se bude snímat výška, o něco zmenšen, a tím pádem snímáme pouze výšku našeho potřebného objektu. Ve vyznačeném poli vidíme obraz pro čtení dat (Obr. 62).



Obr. 62 - Stereovize - úprava ořezáním obrazu

6.4 Popis výukové úlohy

Cílem úlohy je zpracování programů, které budou vyhodnocovat obrazy, které jsou posílány z kamer do softwaru LabVIEW. První program je navržen pro segmentaci objektů ve 2D pohledu s následným přiřazením potřebných informací ohledně polohy a natočení. Druhý program zjišťuje informace o jejich výšce (resp. vzdálenosti objektu od kamer) pomocí 3D strojového vidění a zajišťuje posílání upravených dat do ŘJ robotu. Zde je připravený robotický program, pomocí softwaru RT ToolBox2, ve kterém se tato data uloží do proměnných souřadnic a posléze robot bude vykonávat potřebný pohyb pro uchopení objektu a jeho přesun.

Celý návod této úlohy, krok po kroku, je dodaný v příloze: B - Popis robotických programů. Programy ze softwarů LabVIEW a RT ToolBox2 jsou taktéž umístěny v PC na katedře robotiky a v ŘJ robotu (pouze program ze softwaru RT ToolBox2).

6.5 Způsob zpracování dat a komunikace

Jako software pro snímání obrazu a jeho analýzu v tomto případě budeme používat software LabVIEW a jeho zásuvný modul – Vision Acquisition Software, pomocí kterého vyhodnocujeme obraz získaný z kamer a posléze potřebná data posíláme do řídicí jednotky robotu.

Prvním krokem správného snímání obrazu je kalibrace kamer. Kalibrace je načítána z předem připraveného programu. Pro ukázkovou úlohu byla vytvořena kalibrace na dvě kostky. Název kalibrace: Kalibrace_2_kostky.

Druhým krokem je sejmutí a uložení obrazu pomocí pravé kamery a následné načtení tohoto obrazu do programu pro porovnávání geometrických vzorů. Snímané objekty lze vidět na Obr. 63. V tomto programu se určují podobné objekty pomocí navoleného vzoru. Můžeme zde navolit počet shod, které chceme určit, minimální hodnocení shody a prodlevu určování shod. Dále tento program vypisuje údaje týkající se objektu se shodou. Pro naše účely nás bude zajímat pixelové umístění tohoto objektu v poli pomocí souřadnic X a Y, úhel natočení okolo osy Z, měřítko a dále minimální hodnocení shody. Ukázka geometrických shod spolu s prostředím a parametrem křivky pro shodování viz Obr. 64.



Obr. 63 - Snímané objekty

Template

Image

Curve Parameters

Extraction Mode: Normal

Edge Threshold: 65

Edge Filter Size: Normal

Min Length: 25

Row Search Step Size: 15

Col Search Step Size: 15

Max Endpoint Gap: 10

Closed: ☐

Subpixel: ☐

Number of Matches: 4

Number of Matches Found: 4

Minimum Score: 800

Delay (s.): 0 2 4 6 8 10

Stop

Results

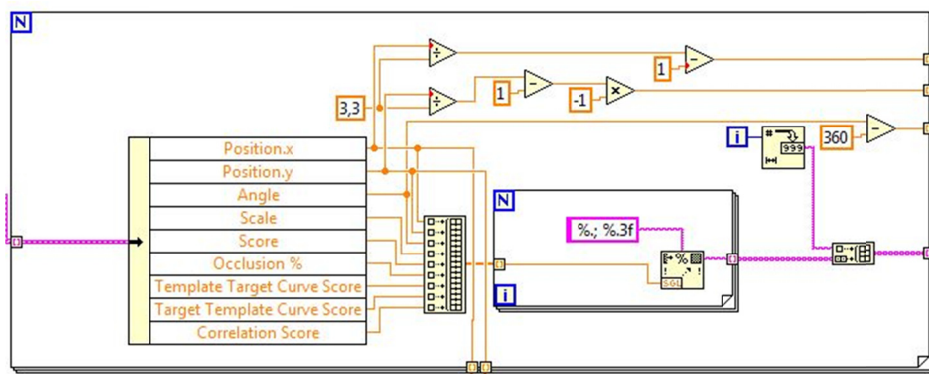
Match Number	0	1	2	3
X Position (pixels)	396.934	197.372	465.993	443.707
Y Position (pixels)	632.031	249.630	161.184	416.742
Angle (degrees)	359.978	27.025	315.241	256.154
Scale (%)	100.018	98.732	97.848	95.698
Score	999.106	906.575	876.567	868.321

Obr. 64 - Ukázka shody

Pro ukládání a posílání dat do ŘJ je nutné, aby byla pouze jenom jedna shoda objektu, protože při více shodách, se zapisují všechny hodnoty do souboru a posléze by tento soubor nebyl náležitě otevřen v ŘJ robotu. Jestliže není shoda objektu se standardním nastavením křivky - Curve Parameters, je doporučeno zmenšovat hodnotu „Edge Threshold“ dokud se shoda neobjeví.

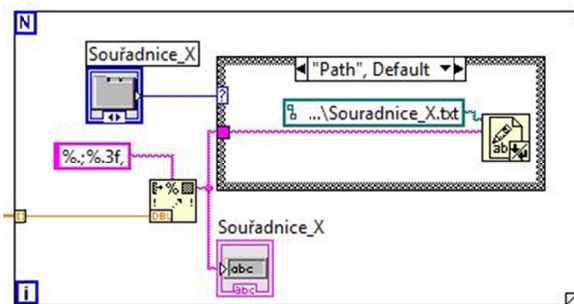
Ve třetím kroku budeme posílat souřadnice X (Position.x), Y (Position.y) a úhel natočení okolo osy Z (Angle) do externího programu, se kterým se posléze bude dále

pracovat. Jelikož údaje o umístění obrazu (souřadnice X, Y) nám program vypíše v pixelech, musí se tato data přepočítat do požadovaných jednotek. Po přeměření pomocí přesného pravítka a milimetrového papíru, vyšel přepočet následně: 3,3 px = 1 mm. Pro úpravu natočení obrazu byl taktéž použit přepočet. Data jsou posléze dále upravena do požadovaného formátu pro čtení v ŘJ. Ukázka programu pro přepočet údajů viz Obr. 65.



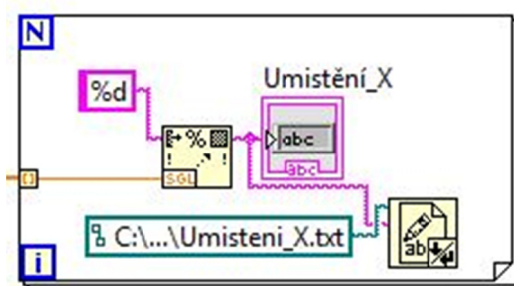
Obr. 65 - Ukázka programu - úprava dat

Takto upravená data se následně ukládají do externích souborů, pro jednotlivé příslušné souřadnice, se kterými se bude dále pracovat. Na Obr. 66. Můžeme vidět příklad zapsání souřadnice X to souboru „Souradnice_X“.



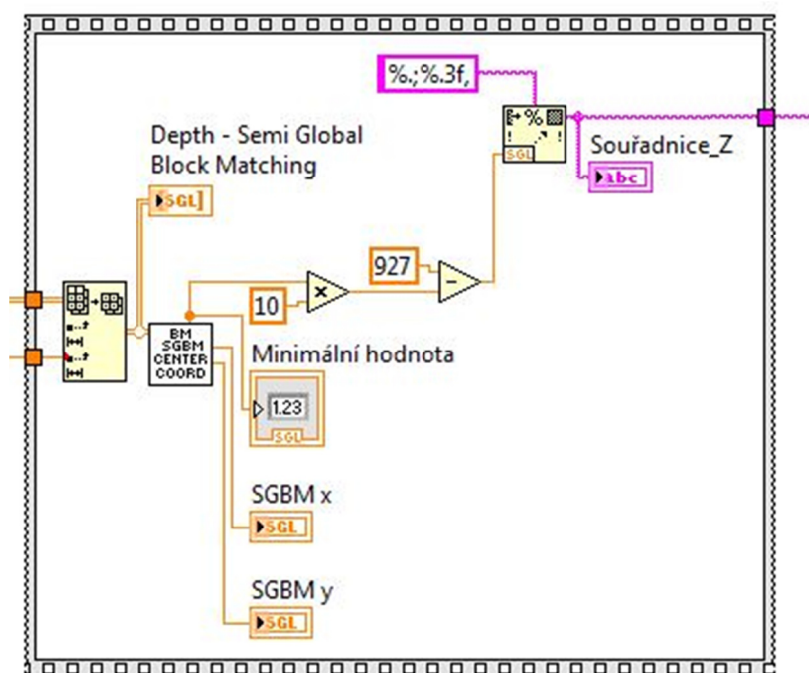
Obr. 66 - Ukázka programu - zápis souřadnic

Pro správné snímání výšky objektu jsou dále z tohoto programu uloženy pixelové souřadnice X (Position.x) a Y (Position.y), potřebné pro úpravu výřezu snímání výšky, jak lze vidět na Obr. 61. Ukázka zapisování těchto dat pro umístění souřadnice X viz Obr. 67.



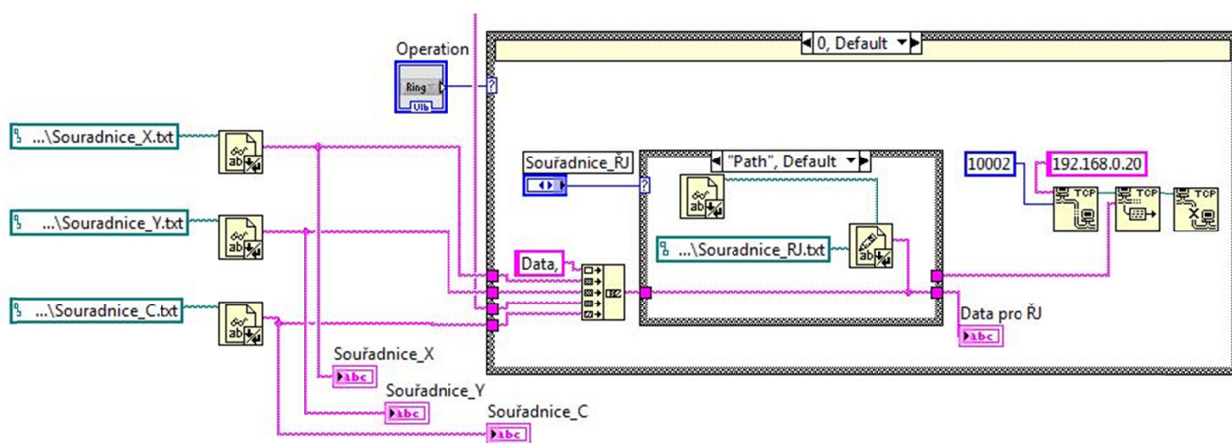
Obr. 67 - Ukázka programu - zápis umístění

Čtvrtý krok spočívá v získání souřadnice osy Z, pomocí přepočtu získané hloubky předmětu. Tuto hodnotu bylo taktéž nutno upravit z důvodu souřadnicového systému robotu. Ukázka programu pro zapisování hloubky obrazu viz Obr. 68.



Obr. 68 - Ukázka programu - zápis hloubky

Pátý krok spočívá v nahrání potřebných údajů, o pozici objektu manipulace, které jsme uložili do externích programů, a jeho výšce, kterou jsme získali z předešlého kroku. Tyto údaje se musí upravit na správný formát, který se posléze posílá do ŘJ robotu. Ukázka programu pro čtení a úpravu dat viz Obr. 69. Přehled všech dat, včetně posílaných, lze vidět na Obr. 70.



Obr. 69 - Ukázka programu - čtení a úprava dat

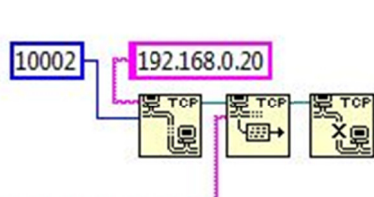
Přehled upravených souřadnic polohy a ukázka všech dat, včetně posílaných do ŘJ robotu, lze vidět na Obr. 70.

The screenshot shows a LabVIEW front panel with the following elements:

- Souřadnice_X**: A numeric control with the value **116.145**.
- Souřadnice_Y**: A numeric control with the value **-178.344**.
- Souřadnice_Z**: A numeric control with the value **176.385**.
- Souřadnice_C**: A numeric control with the value **-324.692**.
- Data pro ŘJ**: A string control containing the text **Data,116.145,-178.344,176.385,-324.692**.

Obr. 70 - Ukázka dat

Šestý krok spočívá v poslání potřebných dat do ŘJ robotu pomocí Ethernetové linky. Data jsou následně přečtena v programu RT ToolBox2, kde se v předpřipraveném programu ukládají tyto hodnoty do proměnných souřadnic. Ukázka programu pro posílání dat ze softwaru LabVIEW viz Obr. 71.

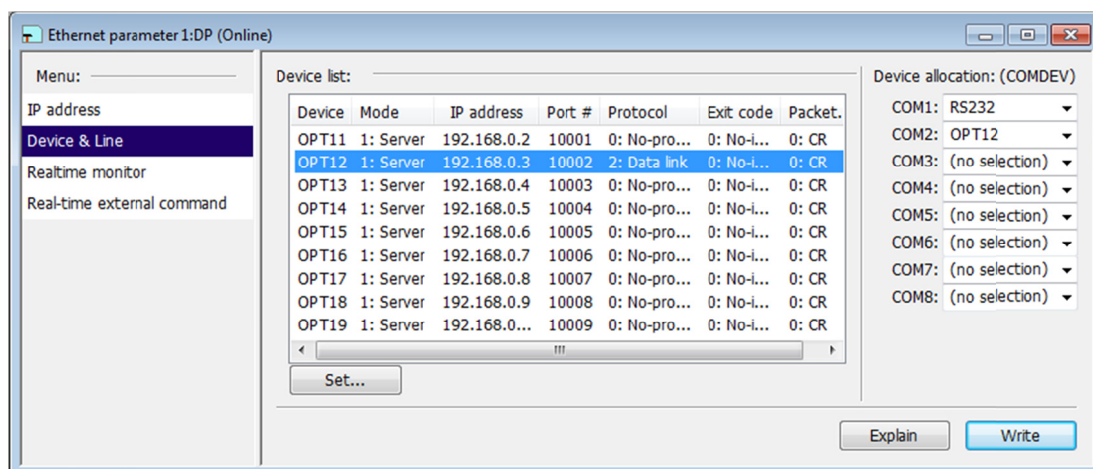


Obr. 71 - Ukázka programu - posílání dat

Pro komunikaci se softwarem RT se musí nejprve nastavit komunikační rozhraní (Obr. 72), aby komunikace probíhala správně a otevřela se tak komunikační linka pro příjem dat.

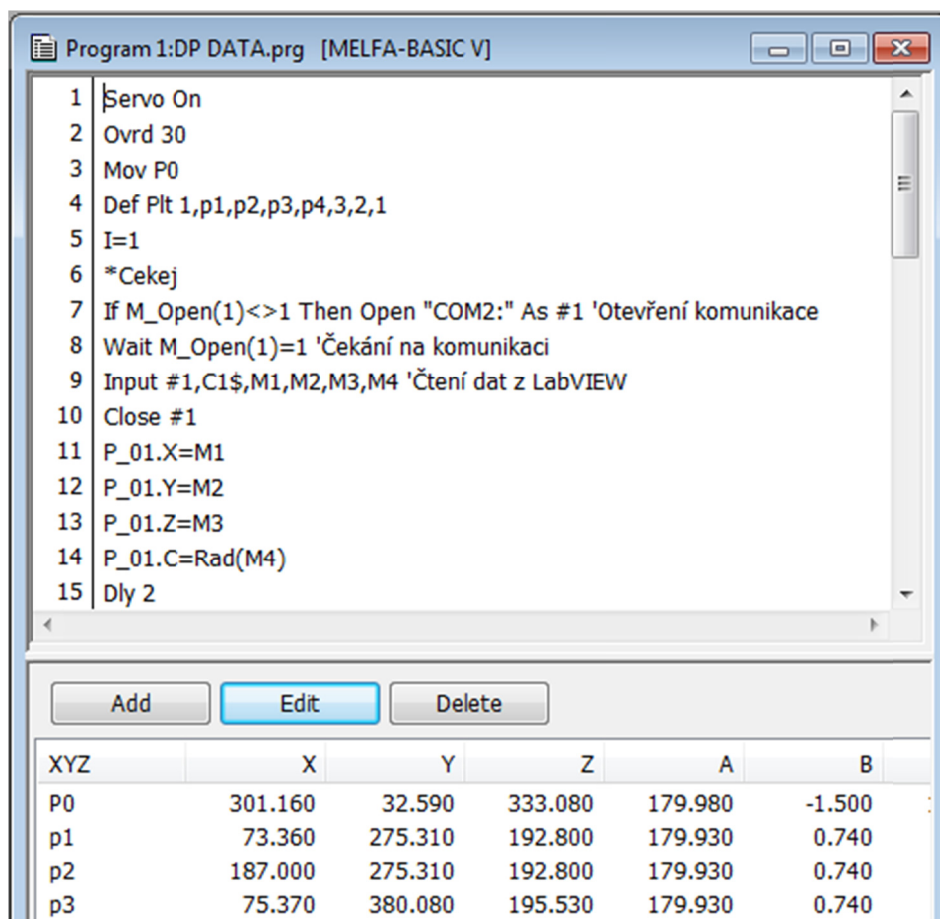
Pro nastavení této linky je nutno postupovat touto cestou:

„Online – Parameter – Communication parametr – Ethernet“.



Obr. 72 - Nastavení rozhraní

Posledním krokem je robotický program v softwaru RT ToolBox2, kde bylo nutno provést přetransformování souřadnicového systému robotu, aby byl schopen správně určit pozici objektu, který chceme uchopit a následně přesunout. Po změně souřadnic a uchopení objektu se musíme ujistit, jestli došlo k navrácení standardního souřadnicového systému pomocí příkazu, aby robot při dalším programu pracoval správně. Ukázka programu lze vidět na Obr. 73.



Obr. 73 - Ukázka programu - RT ToolBox2

Jak již bylo zmíněno, celý návod této úlohy, krok po kroku, je dodaný v příloze: B - Popis robotických programů. Programy ze softwarů LabVIEW a RT ToolBox2 jsou taktéž umístěny v PC na katedře robotiky a v ŘJ robotu (pouze program ze softwaru RT ToolBox2).

7. Zhodnocení a závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval návrhem a vývojem ukázkových úloh pro robot Mitsubishi RV-2SD a posléze úlohou, ve které je společně s robotem využito 3D strojové vidění. Tento hardware snímá objekty a zjišťuje potřebné informace, které se vyhodnotí v počítači a následně upravená data přepošlou do řídicí jednotky robotu. Na základě těchto dat, spolu s robotickým programem, robot uchopí a přemístí OM.

V prvních třech kapitolách jsem se věnoval rozboru a stručnému popisu oboru robotiky, představení skupiny robotů MELFA od společnosti Mitsubishi a použitého typu robotu RV-2SD, od již zmíněné společnosti, dále pak rozboru používané řídicí jednotky a operačního panelu pro ovládání tohoto robotu. Všechny důležité specifikace jsem seřadil do přehledných tabulek.

Ve čtvrté kapitole jsem popsal použitý efektor 1A-HMO1, který je taktéž od společnosti Mitsubishi. Uvádím zde také nutná opatření a úpravy pracoviště ohledně jeho používání, jako je například potřebná redukce, elektrický obvod nebo příkaz pro ovládání efektoru.

V páté kapitole pokračuji s rozбором vývojového softwaru RT ToolBox2 pro psaní vlastních řídicích aplikací pro robot. V této kapitole jsem uvedl, jak lze jednoduše vytvořit nový robotický program, spolu s jeho následnou vizualizací, pomocí 3D monitoru, v simulačním režimu. Dále jsou zde uvedeny základní operace, jako možnosti ovládání robotu, propojení PC a řídicí jednotky, přenos vytvořeného programu včetně seznamu pozic do ŘJ, spuštění programu a mnoho dalších vedlejších funkcí jako vykreslování křivky pohybu, vizualizace pracovního prostoru robotu, zabezpečení oblasti v prostoru robotu, počítání času běhu programu, aj.

V této kapitole jsou také uvedeny vzorové úlohy, které demonstrují ukázkou pohybů robotu spolu s efektem nebo přenos objektů. Jsou zde uvedeny i další úlohy, jako je paletizační funkce, detekce kolize, řízené uvolnění ramen robotu, ale také i návod, jak lze v softwaru RT ToolBox2 vytvořit virtuální pracoviště nebo pracovní nástroj.

Poslední šestá kapitola zahrnuje popis 3D strojového vidění, včetně popisu různých technik, které se využívají pro snímání obrazu, jejich aplikace využití a jsou zde uvedeni i distributoři kamer pro jednotlivé techniky. Dále je zde popis potřebného softwaru LabVIEW, pomocí kterého jsem realizovat demonstrační úlohu. V kapitole jsou také uvedeny potřebné úpravy pracoviště, které jsou nezbytné pro správné snímání obrazu.

Na konci této kapitoly se věnuji popisu úlohy, způsobu zpracování dat a komunikace s ŘJ robotu. Vše je podrobně vysvětleno a doloženo obrázky s ukázkami programu. Je zde uvedena také ukázka robotického programu, díky které robot přijímá data a posléze odebírá objekty.

Všechny výukové úlohy jsou podrobně rozebrány a popsány v dodané v příloze této zprávy. Do přílohy taktéž přikládám další důležité a nezbytné manuály a skripta ohledně robotu, řídicí jednotky a programování.

Největší překážkou, pro mě bylo vytvoření výukové úlohy pro robot s použitím 3D strojovým viděním, protože bylo nutno využívat a programovat v softwaru LabVIEW, se kterým jsem neměl žádné zkušenosti a rovněž zkušenosti v tomto typu programování zcela žádné. Po nějakém čase jsem úzce pronikl do této problematiky a úspěšně jsem vytvořil výukovou úlohu.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] *Rozdělení a pojmy* [online]. [cit. 2017-2-2]. Dostupný z:
<http://robot.vsb.cz/PODKLADY-PRO-VYUKU/>
- [2] *Roboty MELFA* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<https://cz3a.mitsubishielectric.com/fa/cs/products/rbt/robot/>
- [3] *Přehled Q kontrolérů* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
[http://support.siriustrading.ro/02.DocArh/07.RI/04.Controllers,%20extensii/01.Controllers/02.CRnQ,CRnD/CRnQ%20-%20Instruction%20Manual%20\(Setup,%20Operation,%20Maintenance\)%20BFP-A8688-R%20\(07.12\).pdf](http://support.siriustrading.ro/02.DocArh/07.RI/04.Controllers,%20extensii/01.Controllers/02.CRnQ,CRnD/CRnQ%20-%20Instruction%20Manual%20(Setup,%20Operation,%20Maintenance)%20BFP-A8688-R%20(07.12).pdf)
- [4] *Specifikace robotu* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://www.konighartman.nl/UserFiles/Mitsubishirobotcatalogus2010.pdf>
- [5] *Specifikace robotu a řídicí jednotky* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
[http://support.siriustrading.ro/02.DocArh/07.RI/03.Seria%20RV%20\(Vertical\)/05.RV-SD/01.Manuale/RV-2SD%20-%20Standard%20Specifications%20Manual%20BFP-A8790-R%20\(07.12\).pdf](http://support.siriustrading.ro/02.DocArh/07.RI/03.Seria%20RV%20(Vertical)/05.RV-SD/01.Manuale/RV-2SD%20-%20Standard%20Specifications%20Manual%20BFP-A8790-R%20(07.12).pdf)
- [6] *Popis sérií robotů Mitsubishi* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<https://us.mitsubishielectric.com/fa/en/support/parts/legacy-products/robots/rv-sd-series>
- [7] *Operační panel* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://int76.ru/upload/iblock/70b/70b7f82d3dd8442048e64f51905a9c7f.pdf>
- [8] *Efektor* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://www.rixan.com/Portals/0/RV-1A-2AJ/1n2specs.pdf>
- [9] *Manuál programu RT ToolBox2* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
http://www.geva-roboter.at/files/rt_toolbox2_instruction_manual.pdf
- [10] *3D strojové vidění* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://www.ni.com/webcast/3277/cs/>

- [11] *3D strojové vidění a firma ATEsystem s.r.o.* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://kamery.atesystem.cz/know-how/strojove-videni/>
- [12] *Laserová triangulace* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
http://www.micro-epsilon.cz/2D_3D/laser-scanner/
- [13] *Doba letu (ToF)* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/basler/3d-kamery-basler-time-of-flight/>
- [14] *Strukturované světlo* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://kamery.atesystem.cz/produkty/svetla/strukturovane-svetlo/>
- [15] *Technologie LIDAR* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/>
- [16] *Kamery LIDAR* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://www.robotshop.com/en/lidar.html>
- [17] *Porovnání principů* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://cz.mouser.com/applications/time-of-flight-robotics/>
- [18] *Popis LabVIEW* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://www.ni.com/newsletter/51141/en/>
- [19] *Zásuvné moduly LabVIEW* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://www.ni.com/cs-cz/support.html>
- [20] *Skripta LabVIEW* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/FAQ/labview/VI_Skripta.pdf
- [21] *Programování v LabVIEW* [online]. [cit. 2017-2-19]. Dostupný z:
<http://home.hit.no/~hansha/documents/labview/documents/LabVIEW%20Programming.pdf>
- [22] *Kalibrace stereovize* [online]. [cit. 2017-4-27]. Dostupný z:
<https://www.youtube.com/watch?v=bufXESBlzTY>

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 - Pracoviště na centru robotiky	6
Obr. 2 - Schéma pracoviště	6
Obr. 3 - Robot Mitsubishi RV-2SD	7
Obr. 4 - Popis značení	9
Obr. 5 - Pracovní prostor - Nárys	9
Obr. 6 - Pracovní prostor, rozsahy a rozměry robotu - Bokorys	10
Obr. 7 - Mechanický popis - Pohled A, Interface	10
Obr. 8 - Připojovací rozměry	11
Obr. 9 - Řídicí jednotka	11
Obr. 10 - Řídicí jednotka - popis přední části	12
Obr. 11 - Řídicí jednotka - popis zadní části	12
Obr. 12 - Tlačítko pro ovládání módu	13
Obr. 13 - TP - přední pohled	14
Obr. 14 - TP - boční a zadní pohled, rozměry	15
Obr. 15 - TP Hlavní menu	16
Obr. 16 - Ovládací panel - Joint/XYZ	16
Obr. 17 - Efektor 1A-HM01	17
Obr. 18 - Model redukce na připojení	18
Obr. 19 - Obvod pro zapojení efektoru	19
Obr. 20 - Obvod pro LED	20
Obr. 21 - Změna údajů v softwaru RT ToolBox2	21
Obr. 22 - Nové pracovní prostředí	23
Obr. 23 - Editace projektu	24
Obr. 24 - Přehled robotů Mitsubishi	25
Obr. 25 - Ukázka úpravy projektu	25
Obr. 26 - Vytvoření nového robotického programu	26
Obr. 27 - Vytvoření nového robotického programu - popis	26
Obr. 28 - Editovací okno pro nový program - PRO1	27
Obr. 29 - Editační okna pro poziční data	27
Obr. 30 - Přehled příkazů pro programování	28
Obr. 31 - Online - simulační režim	28
Obr. 32 - 3D monitor	29
Obr. 33 - Editační okno pro 3D monitor	29
Obr. 34 - Ovládací panel	30

Obr. 35 - Nahrání programu	30
Obr. 36 - Možnosti akce	31
Obr. 37 - Ukázka simulace	31
Obr. 38 - Online režim	31
Obr. 39 - Vykreslování křivky s body	32
Obr. 40 - Pracovní prostor robotu	33
Obr. 41 - Prostor definovaný uživatelem	34
Obr. 42 - Pohybové parametry	34
Obr. 43 - Další monitorovací funkce	35
Obr. 44 – Nastavení programů ke spolupráci	35
Obr. 45 - Počítání doby / taktu	36
Obr. 46 - Tabulka s vypočteným časem	36
Obr. 47 - Ukázka paletizačního systému	38
Obr. 48 - Monitoring programů	39
Obr. 49 - Ukázka uvolnění ramen	40
Obr. 50 - Zobrazení uvolnění ramen	40
Obr. 51 - Ukázka 2D a 3D pohledu I	42
Obr. 52 - Ukázka 2D a 3D pohledu II	42
Obr. 53 - Stereovize	43
Obr. 54 - Laserová triangulace	44
Obr. 55 - Doba letu – ToF	44
Obr. 56 - Strukturované světlo - ukázka šablony	45
Obr. 57 - Strukturované světlo - Kinect	45
Obr. 58 - Technologie LIDAR a mapování terénu	45
Obr. 59 - 3D strojové vidění	47
Obr. 60 - Stereovize - chyba v krajní poloze	49
Obr. 61 - Ukázka programu - úprava výřezu snímání výšky	50
Obr. 62 - Stereovize - úprava ořezáním obrazu	50
Obr. 63 - Snímané objekty	52
Obr. 64 - Ukázka shody	52
Obr. 65 - Ukázka programu - úprava dat	53
Obr. 66 - Ukázka programu - zápis souřadnic	53
Obr. 67 - Ukázka programu - zápis umístění	53
Obr. 68 - Ukázka programu - zápis hloubky	54
Obr. 69 - Ukázka programu - čtení a úprava dat	54

Obr. 70 - Ukázka dat.....	55
Obr. 71 - Ukázka programu - posílání dat	55
Obr. 72 - Nastavení rozhraní.....	55
Obr. 73 - Ukázka programu - RT ToolBox2	56
Tab. 1 - Specifikace robotu.....	8
Tab. 2 - Specifikace řídicí jednotky.....	13
Tab. 3 - Specifikace operačního panelu.....	15
Tab. 4 - Specifikace efektoru.....	17
Tab. 5 - Použité komponenty pro zapojení efektoru.....	20
Tab. 6 - Porovnání principů 3D strojového vidění	46
Tab. 7 - Komponenty 3D strojového vidění	47

Seznam příloh

A - Model redukce

B - Popis robotických programů

C - Vytvoření efektoru v RT ToolBox2

D - Vytvoření pracoviště v RT ToolBox2

E - Vytvoření roviny v RT ToolBox2

F - Návod na kalibraci stereovize

- Dodatečné přílohy

- Controller setup, basic operation and maintenance_CR1DA_CR2DA_CR3D
- CRnQ_CRnD_Troubleshooting
- Detailed explanations of functions and operations_CRnQ_CRnD
- Efektor_1A-HM01
- R56TB_Instruction Manual
- Robot Arm Setup & Maintenance_RV_2SD_2SDB
- RT ToolBox2 - Instruction Manual
- ŘJ_CR1-CR9_CZ_Podrobná vysvětlení funkcí a činností
- Standard_Specifications_Manual_RV_2SD_2SDB